

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

Japanese Patent Application No. HEI 10-278615 (Not yet Laid-open)

Application date : September 30, 1998

Applicant : FUJITSU LIMITED

Title : Communication Performance Measuring Device and Measuring

5 Method with the Same

[Abstract]

[Object] To measure performance of TCP (Transmission Control Protocol) communications on a communication path in a  
10 network without transmitting a number of packets for measurement to the network.

[Solution] The TCP communication performance measuring device 2 obtains an effective band width (transfer rate) indicating performance in TCP communications either both of a  
15 round-trip time and maximum segment size obtained according to a variable length packet for TCP communications transacted according to TCP, which is a protocol for a transport layer in the OSI reference model, or any of an average conflict window size, a packet abortion ratio, and a packet-abortion even ratio  
20 as an index for the performance. To achieve the object, the TCP communication performance measuring device 2 comprises a packet monitoring section 21, a performance index detecting section 22, a session managing section 23, a session management table 24, and a performance computing section 25.

25 [Selected Figure] Fig. 2

【書類名】 特許願

【整理番号】 9803973

【提出日】 平成10年9月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04L 12/48

【発明の名称】 通信性能測定装置及びその測定方法

【請求項の数】 30

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
富士通株式会社内

【氏名】 青木 武司

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
富士通株式会社内

【氏名】 菊池 慎司

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
富士通株式会社内

【氏名】 高橋 英一

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
富士通株式会社内

【氏名】 横山 乾

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
富士通株式会社内

【氏名】 勝山 恒男

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

富士通株式会社内

【氏名】 岡野 哲也

【特許出願人】

【識別番号】 0 0 0 0 0 5 2 2 3

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 1 0 0 0 8 9 2 4 4

【弁理士】

【氏名又は名称】 遠山 勉

【選任した代理人】

【識別番号】 1 0 0 0 9 0 5 1 6

【弁理士】

【氏名又は名称】 松倉 秀実

【連絡先】 0 3 - 3 6 6 9 - 6 5 7 1

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成10年特許願第213245号

【出願日】 平成10年7月28日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 0 1 2 1 9 2

【納付金額】 2 1 0 0 0

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9 7 0 5 6 0 6

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 通信性能測定装置及びその測定方法

【特許請求の範囲】

【請求項１】 ＯＳＩ参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるＴＣＰに則って送受信されているＴＣＰ通信の可変長パケットに基づいて、ラウンドトリップタイム及び最大セグメントサイズの双方と、平均輻輳ウィンドウサイズ、パケット廃棄率及びパケット廃棄イベント率のいずれかとを性能指標として得て、この性能指標の値の演算によりＴＣＰ通信の性能を表す実効帯域幅を求めることを特徴とする通信性能測定方法。

【請求項２】 ＯＳＩ参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるＴＣＰに則って送受信されているＴＣＰ通信の可変長パケットを監視し、前記パケットより送信側通信装置及び受信側通信装置のアドレス情報とパケット種別とパケットサイズとを含むログ情報を得るためのパケット監視手段と；

前記ログ情報に基づきラウンドトリップタイム及び最大セグメントサイズの双方と平均輻輳ウィンドウサイズ、パケット廃棄率及びパケット廃棄イベント率のいずれかとを性能指標として得るための性能指標検出手段と；

前記性能指標の値の演算によりＴＣＰ通信の性能を表す実効帯域幅を求めるための性能計算手段と；

を備えることを特徴とする通信性能測定装置。

【請求項３】 ＯＳＩ参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるＴＣＰに則って送受信されているＴＣＰ通信の可変長パケットを監視し、前記パケットより送信側通信装置及び受信側通信装置のアドレス情報とパケット種別とパケットサイズとを含むログ情報をセッション毎に得るパケット監視手段と；

前記パケットのフローをセッション毎に管理するセッション管理手段と；

前記ログ情報に基づき性能指標としてラウンドトリップタイム、最大セグメントサイズ及び平均輻輳ウィンドウサイズを検出する性能指標検出手段と；

前記性能指標検出手段が検出した前記性能指標の値を前記セッション管理手段の指定するセッション毎に記録する記憶手段と；

前記記憶手段に記録された前記性能指標の値の演算によりＴＣＰ通信の性能を

表す実効帯域幅を求める性能計算手段と；

を備えることを特徴とする通信性能測定装置。

【請求項 4】前記性能指標検出手段が前記性能指標として前記平均輻輳ウィンドウサイズに代えてパケット廃棄率を検出し、前記性能計算手段はこのパケット廃棄率と前記ラウンドトリップタイム及び前記最大セグメントサイズとを前記性能指標の値として TCP 通信の性能を表す実効帯域幅を求めることを特徴とする請求項 3 記載の通信性能測定装置。

【請求項 5】前記性能指標検出手段が前記性能指標として前記平均輻輳ウィンドウサイズに代えてパケット廃棄イベント率を検出し、前記性能計算手段はこのパケット廃棄イベント率と前記ラウンドトリップタイム及び前記最大セグメントサイズとを前記性能指標の値として TCP 通信の性能を表す実効帯域幅を求めることを特徴とする請求項 3 記載の通信性能測定装置。

【請求項 6】前記ラウンドトリップタイムが TCP コネクション設立時に送信側通信装置と受信側通信装置との間のハンドシェイクにおいて送受信する前記パケットの送信時刻とその受信時刻との差によって求められることを特徴とする請求項 2、3、4 または 5 記載の通信性能測定装置。

【請求項 7】前記最大セグメントサイズが前記パケットのパケットサイズにより求められることを特徴とする請求項 2、3、4 または 5 記載の通信性能測定装置。

【請求項 8】前記平均輻輳ウィンドウサイズは、一つのウィンドウサイクル内で送信または受信された前記パケットの数を求め、輻輳回避アルゴリズムによってウィンドウサイズの調整が行われた期間の前記パケットの数の平均値により求められることを特徴とする請求項 2 または 3 記載の通信性能測定装置。

【請求項 9】前記パケット廃棄率が前記パケットのシーケンス番号の逆戻りの後に再送されたパケット数であるパケット廃棄数を総パケット数で除算して求められることを特徴とする請求項 2 または 4 記載の通信性能測定装置。

【請求項 10】前記パケット廃棄イベント率は、前記シーケンス番号の逆戻りの発生を一つのパケット廃棄イベントとするとき、このイベントの数を総パケット数で除算して求められることを特徴とする請求項 2 または 5 記載の通信性能

測定装置。

【請求項 1 1】前記ラウンドトリップタイムを  $R T T$ 、前記最大セグメントサイズを  $M S S$  及び前記平均輻輳ウィンドウサイズを  $\langle W \rangle$  とするとき、前記実効帯域幅  $B W$  が式  $B W = \langle W \rangle \times M S S / R T T$  により求められることを特徴とする請求項 2 または 3 記載の通信性能測定装置。

【請求項 1 2】前記ラウンドトリップタイムを  $R T T$ 、前記最大セグメントサイズを  $M S S$  及び前記パケット廃棄率を  $p$  とするとき、前記実効帯域幅  $B W$  が式  $B W = C \times M S S / R T T / p$  (ここで、 $C$  は  $1 \pm 0.3$  の範囲で微調整する定数) により求められることを特徴とする請求項 2 または 4 記載の通信性能測定装置。

【請求項 1 3】前記ラウンドトリップタイムを  $R T T$ 、前記最大セグメントサイズを  $M S S$  及び前記パケット廃棄イベント率を  $q$  とするとき、前記実効帯域幅  $B W$  が式  $B W = C \times M S S / R T T / q$  (ここで、 $C$  は  $1 \pm 0.3$  の範囲で微調整する定数) により求められることを特徴とする請求項 2 または 5 記載の通信性能測定装置。

【請求項 1 4】前記ラウンドトリップタイムが  $T C P$  コネクション設立時に送信側通信装置と受信側通信装置との間のハンドシェークにおいて送受信する前記パケットの送信時刻とその受信時刻との差によって求められ、前記最大セグメントサイズが前記パケットのパケットサイズにより求められ、前記平均輻輳ウィンドウサイズは、一つのウィンドウサイクル内で送信または受信された前記パケットの数を求め、輻輳回避アルゴリズムによってウィンドウサイズの調整が行われた期間の前記パケットの数の平均値により求められ、前記パケット廃棄率が前記パケットのシーケンス番号の逆戻りの後に再送されたパケット数であるパケット廃棄数を総パケット数で除算して求められ、及び前記パケット廃棄イベント率は、前記シーケンス番号の逆戻りの発生を一つのパケット廃棄イベントとするととき、このイベントの数を総パケット数で除算して求められ、

前記ラウンドトリップタイムを  $R T T$ 、前記最大セグメントサイズを  $M S S$ 、前記平均輻輳ウィンドウサイズを  $\langle W \rangle$ 、前記パケット廃棄率を  $p$  及び前記パケット廃棄イベント率を  $q$  とするとき、前記実効帯域幅  $B W$  が式  $B W = \langle W \rangle \times M$

$SS/RTT$ 、 $BW = C \times MSS/RTT/p$  及び  $BW = C \times MSS/RTT/q$  (ここで、 $C$  は  $1 \pm 0.3$  の範囲で微調整する定数) のいずれかにより求められることを特徴とする請求項 2 記載の通信性能測定装置。

【請求項 15】前記ラウンドトリップタイムが TCP コネクション設立時に送信側通信装置と受信側通信装置との間のハンドシェークにおいて送受信する前記パケットの送信時刻とその受信時刻との差によって求められ、前記最大セグメントサイズが前記パケットのパケットサイズにより求められ、及び前記平均輻輳ウィンドウサイズは、一つのウィンドウサイクル内で送信または受信された前記パケットの数を求め、輻輳回避アルゴリズムによってウィンドウサイズの調整が行われた期間の前記パケットの数の平均値により求められ、

前記ラウンドトリップタイムを  $RTT$ 、前記最大セグメントサイズを  $MSS$  及び前記平均輻輳ウィンドウサイズを  $\langle W \rangle$  とするとき、前記実効帯域幅  $BW$  が式  $BW = \langle W \rangle \times MSS/RTT$  により求められることを特徴とする請求項 2 記載の通信性能測定装置。

【請求項 16】前記ラウンドトリップタイムが TCP コネクション設立時に送信側通信装置と受信側通信装置との間のハンドシェークにおいて送受信する前記パケットの送信時刻とその受信時刻との差によって求められ、前記最大セグメントサイズが前記パケットのパケットサイズにより求められ、及び前記パケット廃棄率が前記パケットのシーケンス番号の逆戻りの後に再送されたパケット数であるパケット廃棄数を総パケット数で除算して求められ、

前記ラウンドトリップタイムを  $RTT$ 、前記最大セグメントサイズを  $MSS$  及び前記パケット廃棄率を  $p$  とするとき、前記実効帯域幅  $BW$  が式  $BW = C \times MSS/RTT/p$  (ここで、 $C$  は  $1 \pm 0.3$  の範囲で微調整する定数) により求められることを特徴とする請求項 4 記載の通信性能測定装置。

【請求項 17】前記ラウンドトリップタイムが TCP コネクション設立時に送信側通信装置と受信側通信装置との間のハンドシェークにおいて送受信する前記パケットの送信時刻とその受信時刻との差によって求められ、前記最大セグメントサイズが前記パケットのパケットサイズにより求められ、及び前記パケット廃棄イベント率は、前記シーケンス番号の逆戻りの発生を一つのパケット廃棄イ

メントとするとき、このイベントの数を総バケット数で除算して求められ、

前記ラウンドトリップタイムを  $R T T$ 、前記最大セグメントサイズを  $M S S$  及び前記バケット廃棄イベント率を  $q$  とするとき、前記実効帯域幅  $B W$  が式  $B W = C \times M S S / R T T / q$  (ここで、 $C$  は  $1 \pm 0.3$  の範囲で微調整する定数) により求められることを特徴とする請求項 5 記載の通信性能測定装置。

【請求項 18】少数個の計測用バケットを一定時間間隔で送受信することによって計測されるラウンドトリップタイムに基づいて得たラウンドトリップタイムの平均値または中間値と、送受信される前記計測用バケットのバケットサイズに基づいて得た最大セグメントサイズと、前記ラウンドトリップタイムの時間変化から推定される最大輻輳ウィンドウサイズとを性能指標として  $T C P$  通信の性能を表す実効帯域幅を求めることを特徴とする通信性能測定方法。

【請求項 19】少数個の計測用バケットを一定時間間隔で送受信して最大セグメントサイズ及びラウンドトリップタイムをそれぞれ測定する計測手段と；

前記ラウンドトリップタイムの平均値または中間値を求め、前記ラウンドトリップタイムの時間変化から最大輻輳ウィンドウサイズを推定する性能指標検出手段と；

前記最大セグメントサイズと前記ラウンドトリップタイムの平均値または中間値と前記最大輻輳ウィンドウサイズとに基づいて  $T C P$  通信の性能を表す実効帯域幅を求める性能計算手段と；

を備えることを特徴とする通信性能測定装置。

【請求項 20】前記ラウンドトリップタイム及び前記最大セグメントサイズは、前記計測用バケットとして  $O S I$  参照モデルのネットワーク層のプロトコルである  $I C M P$  のエコーバケット、 $O S I$  参照モデルのトランスポート層のプロトコルである  $T C P$  及び  $U D P$  のエコーバケットのいずれかを送受信することにより計測されることを特徴とする請求項 19 記載の通信性能測定装置。

【請求項 21】前記最大輻輳ウィンドウサイズは、前記ラウンドトリップタイムの時間変化からバケット廃棄イベントの周期の平均値または中間値を求めてその値を 2 倍し、前記ラウンドトリップタイムの平均値または中間値で除算することにより求められることを特徴とする請求項 19 記載の通信性能測定装置。

【請求項 2 2】前記ラウンドトリップタイムの平均値または中間値を $\langle R T \rangle$ 、前記最大セグメントサイズを $M S S$ 及び前記最大輻輳ウィンドウサイズを $W$ とすると、前記実効帯域幅 $B W$ が式 $B W = (3 / 4) \times W \times M S S / \langle R T \rangle$ により求められることを特徴とする請求項 1 9 記載の通信性能測定装置。

【請求項 2 3】前記ラウンドトリップタイム及び前記最大セグメントサイズは、前記計測用パケットとして $O S I$ 参照モデルのネットワーク層のプロトコルである $I C M P$ のエコーパケット、 $O S I$ 参照モデルのトランスポート層のプロトコルである $T C P$ 及び $U D P$ のエコーパケットのいずれかを送受信することにより計測され、前記最大輻輳ウィンドウサイズは、前記ラウンドトリップタイムの時間変化から前記ラウンドトリップタイムの極大点を検出することにより、前記ラウンドトリップタイムが極大になってから次に極大になるまでの時間間隔を 2 倍し、前記ラウンドトリップタイムの平均値または中間値で除算することにより求められ、

前記ラウンドトリップタイムの平均値または中間値を $\langle R T T \rangle$ 、前記最大セグメントサイズを $M S S$ 及び前記最大輻輳ウィンドウサイズの値を $W$ とすると、前記実効帯域幅 $B W$ が式 $B W = (3 / 4) \times W \times M S S / \langle R T T \rangle$ により求められることを特徴とする請求項 1 9 記載の通信性能測定装置。

【請求項 2 4】少数個の計測用パケットを可変な一定時間間隔で送受信することによってラウンドトリップタイムを計測し、前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムが直前の前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムよりも長くなる割合を判定し、前記割合が予め定めた閾値を超えているか否かを調査し、超えているならば前記計測用パケットの転送速度がネットワークの経路の利用可能帯域幅を超えていると判断することにより、 $U D P$ のようなそれ自体では転送速度の制御を行わない $O S I$ 参照モデルのトランスポート層のプロトコルを用いて通信を行った場合及び $O S I$ 参照モデルのトランスポート層のプロトコルである $T C P$ を用いて通信を行った場合のいずれかのネットワーク経路の利用可能帯域幅が、予め定めたある値を超えているか否かを判断することを特徴とする通信性能測定方法。

【請求項 2 5】少数個の計測用パケットを可変な一定時間間隔で送受信する

ことによってラウンドトリップタイムを計測する計測手段と；

前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムが直前の前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムよりも長くなる割合を調査する割合判定手段と；

前記割合が予め定めた閾値を超えているか否かを調査し、超えているならば前記計測用パケットの転送速度がネットワークの経路の利用可能帯域幅を超えていると判断することにより、UDPのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないOSI参照モデルのトランスポート層のプロトコルを用いて通信を行った場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅が、予め定めたある値を超えているか否かを判断する性能判定手段と；

を備えることを特徴とする通信性能測定装置。

【請求項26】少数個の計測用パケットを可変な一定時間間隔で送受信することによってラウンドトリップタイムを計測する計測手段と；

前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムが直前の前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムよりも長くなる割合を調査する割合判定手段と；

前記割合が予め定めた閾値を超えているか否かを調査し、超えているならば前記計測用パケットの転送速度がネットワークの経路の利用可能帯域幅を超えていると判断することにより、OSI参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるTCPを用いて通信を行った場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅が、予め定めたある値を超えているかどうかを判断する性能判定手段と；

を備えることを特徴とする通信性能測定装置。

【請求項27】前記計測用パケットの転送速度の値を二分法により変化させながら前記割合が前記閾値を超えているか否かを判定する処理を所定の回数繰り返し、前記UDPのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないようなプロトコルを用いて通信を行った場合及び前記TCPを用いて通信を行った場合のいずれかの前記ネットワーク経路の前記利用可能帯域幅を推定することを特徴とする請求項25または26記載の通信性能測定装置。

【請求項28】前記計測用パケットの転送速度の値をはさみうち法により変

化させながら前記割合が前記閾値を超えているか否かを判定する処理を所定の回数繰り返し、前記UDPのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないようなプロトコルを用いて通信を行った場合及び前記TCPを用いて通信を行った場合のいずれかの前記ネットワーク経路の前記利用可能帯域幅を推定することを特徴とする請求項25または26記載の通信性能測定装置。

【請求項29】前記計測用パケットの転送速度の値を単調増加法により変化させながら前記割合が前記閾値を超えているか否かを判定する処理を所定の回数繰り返し、前記UDPのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないようなプロトコルを用いて通信を行った場合及び前記TCPを用いて通信を行った場合のいずれかの前記ネットワーク経路の前記利用可能帯域幅を推定することを特徴とする請求項25または26記載の通信性能測定装置。

【請求項30】前記計測用パケットの転送速度の値を単調減少法により変化させながら前記割合が前記閾値を超えているか否かを判定する処理を所定の回数繰り返し、前記UDPのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないようなプロトコルを用いて通信を行った場合及び前記TCPを用いて通信を行った場合のいずれかの前記ネットワーク経路の前記利用可能帯域幅を推定することを特徴とする請求項25または26記載の通信性能測定装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は通信プロトコルとしてTCP (Transmission Control Protocol) やUDP (User Datagram Protocol) などを用いる通信ネットワークシステムに関し、特にTCP通信やUDP通信などの性能を測定する装置及び方法に関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

TCPやUDPはOSI参照モデルの第三層のIP (Internet Protocol : ネットワーク層) の上の第四層 (トランスポート層) のプロトコルである。TCPの特徴は信頼性のあるデータ伝送 (転送) を行うこと、つまり

通信の開始から終了まで通信路の信頼性を保持してデータの正常な送信の制御と、さらにエラー時のエラー検出及び回復とを行うことにある。このため、TCPではコネクション・オリエンテッドなバーチャル通信路を設定して、上位層のユーザに全二重・双方向のストリームサービスを提供する。

#### 【0003】

ここで、コネクション・オリエンテッドとは、コネクション（接続）の後に、その通信路を通してデータを転送する形式であり、通信中はデータの送受信を監視することである。また、ストリームサービスとは、大量のデータをブロックやパケットなどのかたまり（固定長）ではなく、ビット列と考えてバイト単位にそのまま受信側に送ることである。

#### 【0004】

通信ネットワークシステムにおいて、ストリームサービスでコネクション・オリエンテッドなデータ転送を行い、信頼性を維持するには、TCP通信の性能を測定することが必要不可欠となる。TCP通信の性能は送信側通信装置及び受信側通信装置の処理性能、通信路（経路）上のルータの処理能力、及び回線の容量などに依存して大きく異なる。

#### 【0005】

また、UDP通信は、TCP通信がコネクション・オリエンテッドなデータ通信を行うのに対し、コネクションレス型であり、UDPのプロトコル自体では転送速度の制御を行わない。しかし、UDP通信の性能もTCP通信と同様に上記各要素に依存して異なり、通信ネットワークシステムとしては、UDP通信性能を測定することも必要不可欠である。

#### 【0006】

従来、TCP通信やUDP通信などの性能を測定するためには、これらの通信を模倣したシミュレーションプログラムを実行することにより、多数個の計測用パケットを送信し、転送速度を実測する手法が採られている。

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、この手法によると、測定精度を上げるために、多数個の計測用

パケットを連続的にネットワークに送信するため、ネットワークに過剰な負荷をかけることを免れない。

#### 【 0 0 0 8 】

本発明の第1の課題は、計測用パケットのような特別なパケットを送信することなく、つまりネットワークに過剰な負荷をかけることなく、TCP通信の性能を測定することができる装置及び方法を提供することにある。

#### 【 0 0 0 9 】

また、本発明の第2の課題は、計測用パケットとして特別なパケットを利用するが、少数個の計測用パケットを一定時間間隔で送受信することにより、つまりネットワークに過剰な負荷をかけることなく、TCP通信の性能を測定（厳密には、推定）することができる装置及び方法を提供することにある。

#### 【 0 0 1 0 】

さらに、本発明の第3の課題は、計測用パケットとして特別なパケットを利用するが、少数個の計測用パケットを可変な一定時間間隔で送受信し、ラウンドトリップタイムの増減を観察することにより、つまりネットワークに過剰な負荷をかけることなく、TCPやUDP通信などの性能を測定（推定）することができる装置及び方法を提供することにある。

#### 【 0 0 1 1 】

##### 【課題を解決するための手段】

上記第1の課題を解決するための本発明の通信性能測定方法は、OSI参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるTCPに則って送受信されているTCP通信の可変長パケットに基づいて、ラウンドトリップタイム及び最大セグメントサイズの双方と、平均輻輳ウィンドウサイズ、パケット廃棄率及びパケット廃棄イベント率のいずれかとを性能指標として得て、この性能指標の値の演算によりTCP通信の性能を表す実効帯域幅を求める。

#### 【 0 0 1 2 】

また、同通信性能測定装置は、OSI参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるTCPに則って送受信されているTCP通信の可変長パケットを監視し、前記パケットより送信側通信装置及び受信側通信装置のアドレス情報とパケ

ット種別とパケットサイズとを含むログ情報を得るためのパケット監視手段と；前記ログ情報に基づきラウンドトリップタイム及び最大セグメントサイズの双方と平均輻輳ウィンドウサイズ、パケット廃棄率及びパケット廃棄イベント率のいずれかとを性能指標として得るための性能指標検出手段と；前記性能指標の値の演算によりＴＣＰ通信の性能を表す実効帯域幅を求めるための性能計算手段とを備える。

#### 【 0 0 1 3 】

さらに、同通信性能測定装置は、ＯＳＩ参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるＴＣＰに則って送受信されているＴＣＰ通信の可変長パケットを監視し、前記パケットより送信側通信装置及び受信側通信装置のアドレス情報とパケット種別とパケットサイズとを含むログ情報をセッション毎に得るパケット監視手段と；前記パケットのフローをセッション毎に管理するセッション管理手段と；前記ログ情報に基づき性能指標としてラウンドトリップタイム、最大セグメントサイズ及び平均輻輳ウィンドウサイズを検出する性能指標検出手段と；前記性能指標検出手段が検出した前記性能指標の値を前記セッション管理手段の指定するセッション毎に記録する記憶手段と；前記記憶手段に記録された前記性能指標の値の演算によりＴＣＰ通信の性能を表す実効帯域幅を求める性能計算手段とを備える。

#### 【 0 0 1 4 】

上記第２の課題を解決するための本発明の通信性能測定方法は、少数個の計測用パケットを一定時間間隔で送受信することによって計測されるラウンドトリップタイムに基づいて得たラウンドトリップタイムの平均値または中間値と、送受信される前記計測用パケットのパケットサイズに基づいて得た最大セグメントサイズと、前記ラウンドトリップタイムの時間変化から推定される最大輻輳ウィンドウサイズとを性能指標としてＴＣＰ通信の性能を表す実効帯域幅を求める。

#### 【 0 0 1 5 】

また、同通信性能測定装置は、少数個の計測用パケットを一定時間間隔で送受信して最大セグメントサイズ及びラウンドトリップタイムをそれぞれ測定する計測手段と；前記ラウンドトリップタイムの平均値または中間値を求め、前記ラウ

ンドトリップタイムの時間変化から最大輻輳ウィンドウサイズを推定する性能指標検出手段と；前記最大セグメントサイズと前記ラウンドトリップタイムの平均値または中間値と前記最大輻輳ウィンドウサイズとに基づいてＴＣＰ通信の性能を表す実効帯域幅を求める性能計算手段とを備える。

#### 【 0 0 1 6 】

上記第３の課題を解決するための本発明の通信性能測定方法は、少数個の計測用パケットを可変な一定時間間隔で送受信することによってラウンドトリップタイムを計測し、前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムが直前の前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムよりも長くなる割合を判定し、前記割合が予め定めた閾値を超えているか否かを調査し、超えているならば前記計測用パケットの転送速度がネットワークの経路の利用可能帯域幅を超えていると判断することにより、ＵＤＰのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないＯＳＩ参照モデルのトランスポート層のプロトコルを用いて通信を行った場合及びＯＳＩ参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるＴＣＰを用いて通信を行った場合のいずれかのネットワーク経路の利用可能帯域幅が、予め定めたある値を超えているか否かを判断する。

#### 【 0 0 1 7 】

また、同通信性能測定装置は、少数個の計測用パケットを可変な一定時間間隔で送受信することによってラウンドトリップタイムを計測する計測手段と；前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムが直前の前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムよりも長くなる割合を調査する割合判定手段と；前記割合が予め定めた閾値を超えているか否かを調査し、超えているならば前記計測用パケットの転送速度がネットワークの経路の利用可能帯域幅を超えていると判断することにより、ＵＤＰのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないＯＳＩ参照モデルのトランスポート層のプロトコルを用いて通信を行った場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅が、予め定めたある値を超えているか否かを判断する性能判定手段とを備える。

#### 【 0 0 1 8 】

さらに、同通信性能測定装置は、少数個の計測用パケットを可変な一定時間間

隔で送受信することによってラウンドトリップタイムを計測する計測手段と；前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムが直前の前記計測用パケットの前記ラウンドトリップタイムよりも長くなる割合を調査する割合判定手段と；前記割合が予め定めた閾値を超えているか否かを調査し、超えているならば前記計測用パケットの転送速度がネットワークの経路の利用可能帯域幅を超えていると判断することにより、OSI参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるTCPを用いて通信を行った場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅が、予め定めたある値を超えているか否かを判断する性能判定手段とを備える。

#### 【0019】

##### 【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

本発明の第1の実施の形態を示す図1を参照すると、通信ネットワークシステム1は複数のネットワーク11、12、13、14及び15を含む。これらのネットワークはUNIXなどのコンピュータネットワークや広域のパケット交換網を構成する。ネットワーク11から15のそれぞれは、OSI参照モデルのネットワーク層レベルでネットワークの相互接続を行うルータRTを有する。ここでは、通信装置16、17及び18がネットワーク15、11及び12にそれぞれ収容されていることを例示している。

#### 【0020】

これらの通信装置はIP (Internet Protocol) アドレスを持つコンピュータや通信端末である。通信装置16と通信装置17とはネットワーク15、13及び11を経由する通信路VC1を通してデータの送受信 (TCP通信) を行う。また、通信装置16が通信装置18とデータの送受信 (TCP通信) を行うときはネットワーク15、13、14及び12の通信路VC2を経由する。

#### 【0021】

この構成を採る通信ネットワークシステム1には、TCP通信の性能を測定するために、図2に示すTCP通信性能測定装置2が配置される。この配置は通信装置16、17及び18のいずれかを選択でき、測定装置2とその通信装置とを

同一筐体内に構成するか、個別構成とするかは予め定めればよい。

#### 【 0 0 2 2 】

T C P 通信性能測定装置 2 において、パケットモニタリング部 2 1 は配置位置の通信装置が送受信している T C P パケット（ビットストリームの可変長パケット）を監視（モニタ）し、後に詳述するログ情報を取り込む。T C P パケットのログ情報を取るためには、U N I X 上の既存ソフトウェアである「t c p d u m p」（V a n J a c o b s o n, C r a i g L e r e s a n d S t e v e n M c C a n n e (L a w r e n c e B e r k e l e y N a t i o n a l L a b o r a t o r y), t c p d u m p - d u m p t r a f f i c o n a n e t w o r k, U R L : f t p : / / f t p . e e . l b l . g o v / t c p d u m p . t a r . Z）を用いることができる。

#### 【 0 0 2 3 】

性能指標検出部 2 2 はパケットモニタリング部 2 1 からのログ情報に基づき T C P 通信の性能に関する情報を得る。セッション管理部 2 3 は T C P パケット中のログ情報をもとに、通信を行っている送信側通信装置及び受信側通信装置のペアのアドレスを検出し、このペア毎に後述するセッション管理テーブル 2 4 に記録する。つまり、セッション管理部 2 3 は T C P パケットのフローをセッション（上記通信装置のペアのアドレス）毎に管理している。

#### 【 0 0 2 4 】

セッション管理テーブル 2 4 はセッション毎に T C P 通信の性能指標（後に詳述）の値を記録するためのデータベースである。また、性能計算部 2 5 はセッション管理テーブル 2 4 にセッション毎に記録された性能指標の値からネットワークの通信経路上での T C P 通信の性能を算出する。

#### 【 0 0 2 5 】

T C P 通信性能測定装置 2 のパケットモニタリング部 2 1 に取り込まれる T C P パケットのログ情報は、図 3 に示すように、送受信時刻、送信側通信装置及び受信側通信装置のアドレス、パケット種別及びパケットサイズを含む。

#### 【 0 0 2 6 】

また、測定装置 2 の性能指標検出部 2 2 は、セッション管理部 2 3 がセッショ

ン管理テーブル24に指定したセッションについて、ログ情報から性能指標の値を検出してセッション管理テーブル24に格納する。性能指標には、ラウンドトリップタイム、最大セグメントサイズ、平均輻輳ウィンドウサイズ、パケット廃棄率及びパケット廃棄イベント率が含まれる。

#### 【0027】

次に、それぞれの性能指標の検出法について述べる。ラウンドトリップタイムは指定されたセッションについてログ情報よりTCPコネクションの設立時のハンドシェークと呼ばれるパケットのやりとりを見つけることにより検出する。図4はTCPコネクション設立時のハンドシェークの一例を示す。送信側通信装置は受信側通信装置にSYN（同期）パケットを送信し、受信側通信装置はこれに対して送信側通信装置にACK（確認）パケットを返信する。さらに、送信側通信装置はACKパケットを受信すると、受信側通信装置にSYNACK（確認応答）パケットを返信する。

#### 【0028】

これにより、送信側通信装置と受信側通信装置との間でTCPコネクションが確立する。ラウンドトリップタイムは送信側通信装置及び受信側通信装置のどちらの位置でも計測できる。送信側通信装置の位置、つまりここに測定装置2が配置された場合、SYNパケットの送信時刻T1とACKパケットの受信時刻T3とからラウンドトリップタイムRTTを式（1）で計算する。

#### 【0029】

$$RTT (msec) = T3 - T1 \quad \cdots \cdots (1)$$

また、受信側通信装置の位置では、ACKパケットの送信時刻T2とSYNACKパケットの受信時刻T4とからラウンドトリップタイムRTTを式（2）で計算する。

#### 【0030】

$$RTT (msec) = T4 - T2 \quad \cdots \cdots (2)$$

最大セグメントサイズ（単位：バイト）は次のように検出する。TCP通信では、通信経路上のルータの最大送信単位（MTU）に基づいてパケットのサイズを決めている。中継のルータが通信経路上に複数あるときは、最大送信単位の最

小値がTCP通信の最大セグメントサイズになる。TCP通信では、通信経路上のルータのMTUを検出して、最大セグメントサイズを自動調整している。あるセッションの最大セグメントサイズを得るには、パケットモニタリング部21が収集したログ情報からTCP通信のパケットサイズを抽出すればよい。

#### 【0031】

また、平均輻輳ウィンドウサイズ（単位：パケット）は次のように検出する。TCP通信では、パケットをスライディングウィンドウ方式により出力制限しながら送出する。つまり、ウィンドウサイズという単位で一度に送出するパケット数を制限し、ウィンドウサイズ分のパケットが転送されたことを受信側通信装置からの受信確認パケットによって確認した後に、次のウィンドウサイズ分のパケットを送出する（図5参照）。

#### 【0032】

ウィンドウサイズを得るには、送信または受信されたパケットのログ情報から一つのウィンドウサイクル内で送出されたパケットの数を調べればよい。ただし、ウィンドウサイズはTCP通信が進むにつれて時間を追って変化する。TCPでは、スロースタート及び輻輳回避の二つのアルゴリズムを組み合わせでウィンドウサイズを調整している。つまり、TCPコネクションが設立した直後はスロースタートを行ってウィンドウサイズを値1から指数関数的に増加していくが、やがてネットワークが輻輳するようになると、パケットが破棄され、受信確認パケットが到着しなくなる。

#### 【0033】

送信側通信装置では、受信確認パケットが所定時間内に到着しない場合、ネットワークが輻輳していると判断し、ウィンドウサイズを調整する。ウィンドウサイズの調整は輻輳回避アルゴリズムによって行われる。つまり、パケット廃棄が起こる（受信確認パケットが所定時間内に到着しない）と、ウィンドウサイズを半分に減らし、その後に再びパケット廃棄が起こるまで一つずつウィンドウサイズを増やしていく。パケット廃棄が起こると、再びウィンドウサイズを半分に減らして同じことを繰り返す。

#### 【0034】

図 6 はウィンドウサイズの時間変化の一例を示す。同図中、縦軸のウィンドウサイズは最大セグメントサイズを乗じて単位バイトで示している。性能指標検出部 22 はウィンドウサイズの値として、輻輳回避アルゴリズムが実行されている（図 6 中、符号 A で示す）ときのウィンドウサイズの平均値を求める。

#### 【 0 0 3 5 】

性能指標のラウンドトリップタイム、最大セグメントサイズ及び平均輻輳ウィンドウサイズは UNIX 上の既存ソフトウェアである「tcptrace」(Shawn Ostermann (Ohio University), tcptrace - a TCP dump file analysis tool, URL: <http://jarok.cs.ohiou.edu/software/tcptrace/tcptrace.html>) を用いてログ情報から抽出することができる。上述のようにして求められる性能指標のラウンドトリップタイム、最大セグメントサイズ及び平均輻輳ウィンドウサイズの各値をセッション管理テーブル 24 に格納した一例を図 7 に示す。

#### 【 0 0 3 6 】

性能計算部 25 はこれらの性能指標に基づいて TCP 通信性能を表す実効帯域幅（転送速度）を算出する。ここでは、実効帯域幅を BW（バイト／秒）、ラウンドトリップタイムを RTT（msec）、最大セグメントサイズを MSS（バイト）及び平均輻輳ウィンドウサイズを  $\langle W \rangle$ （パケット）とすると、性能計算部 25 は式（3）により実効帯域幅 BW を求め、TCP 通信の性能値として出力する。

#### 【 0 0 3 7 】

$$BW = \langle W \rangle \times MSS / RTT \quad \dots\dots (3)$$

これまで性能指標検出部 22 が検出した性能指標のラウンドトリップタイム、最大セグメントサイズ及び平均輻輳ウィンドウサイズに基づいて、性能計算部 25 が TCP 通信性能を表す実効帯域幅を算出する場合について説明したが、次に述べる代替手法によっても実効帯域幅を求めることができる。

#### 【 0 0 3 8 】

つまり、性能指標検出部 22 によって平均輻輳ウィンドウサイズに代えてパケ

ット廃棄率またはパケット廃棄イベント率を検出させ、実効帯域幅を算出するための性能指標とする。TCP通信では、パケットを送信するとき、順にシーケンス番号を付与してパケットのヘッダに記録している。セッション毎にTCPパケットのシーケンス番号を追跡すると、シーケンス番号が順に増えているときは、パケットは廃棄されずに送信または受信されていることが分かり、シーケンス番号が逆戻りしたときは、その番号のパケットが廃棄されたため、再送されたことが分かる。したがって、図8に示すように、シーケンス番号の逆戻りが起きたときをパケット廃棄イベントとして計数し、逆戻りした後に再送されたパケット数をパケット廃棄として計数する。

#### 【0039】

パケット廃棄数及びパケット廃棄イベント数の計数手法について図9を参照して説明する。性能指標検出部22は変数としてLOSS-NUM（パケット廃棄カウンタ）、LOSS-EVENT-NUM（パケット廃棄イベントカウンタ）、LOSS-EVENT-FLAG（パケット廃棄イベント履歴フラグ）、MAX-SEQ-NO（最大シーケンス番号）、及びLAST-SEQ-NO（最新送出パケットシーケンス番号）の各値を格納するためのメモリを有する。

#### 【0040】

性能指標検出部22は、ステップS1において、LOSS-NUM、LOSS-EVENT-NUM、LOSS-EVENT-FLAG、及びMAX-SEQ-NOの各値を0に初期化する。ステップS2では、パケットのログ情報からパケットが新しく送信されたかどうかを検出する。新たなパケットが送信されたときはステップS3に進む。そうでないときはステップS2の処理を繰り返す。ステップS3において、新たに送信されたパケットのシーケンス番号をログ情報から検出し、LAST-SEQ-NOに代入する。

#### 【0041】

性能指標検出部22は、ステップS4において、LAST-SEQ-NOがMAX-SEQ-NO以下であるという条件の成立を調べる。ステップS4の条件の成立は、シーケンス番号の逆戻りが起きており、パケットが廃棄されたことを意味する。ステップS4の条件が成立したときは、ステップS5に進み、LOS

S - N U M を 1 だけ増やし、ステップ S 6 に進む。

【 0 0 4 2 】

ステップS6では、LOSS-EVENT-FLAGが1であるかどうかを調べる。LOSS-EVENT-FLAGが1ならば、既にパケット廃棄イベントを計数しているのでステップS2に戻る。LOSS-EVENT-FLAGが0ならば、パケット廃棄イベントは未だ計数されていないのでステップS7に進み、LOSS-EVENT-NUMを1だけ増やす。

#### 【0043】

ステップS4の条件が成立しない場合は、シーケンス番号の逆戻りはなく、パケット廃棄は起きていない。このときは、ステップS8に進み、LAST-SEQ-NOの値をMAX-SEQ-NOに代入する。次に、ステップS9でLOSS-EVENT-FLAGを0にリセットし、ステップS2に戻る。

#### 【0044】

セッションが終了した時点で、LOSS-NUMの値はパケット廃棄数を、かつLOSS-EVENT-NUMの値はパケット廃棄イベント数を与える。性能指標検出部22はこれらの値を用いてパケット廃棄率及びパケット廃棄イベント率を次のように求める。

#### 【0045】

パケット廃棄率 $p$ は、性能指標検出部22が各セッションについてパケットのログ情報を見て、受信確認パケットによって受信が確認されなかったパケット数（パケット廃棄数）と、送信または受信した総パケット数とを検出し、式（4）によって計算することにより求められる。

#### 【0046】

$$p = \text{パケット廃棄数} / \text{総パケット数} \quad \cdots \cdots (4)$$

TCPの輻輳回避アルゴリズムでは、ウィンドウサイズの中でパケットが廃棄されたとき、それが複数個のパケットであっても一つの輻輳シグナルとみなして、ウィンドウサイズの調整（ウィンドウサイズを半減する操作）を行っている。したがって、シーケンス番号が逆戻りしたときを一つのパケット廃棄イベントとみなして、パケット廃棄イベント率 $q$ を式（5）により計算する。なお、このイベント率 $q$ を使って実効帯域幅を求めた方が推定の精度が向上する。

#### 【0047】

$$q = \text{パケット廃棄イベント数} / \text{総パケット数} \quad \cdots \cdots (5)$$

このようにして求められる性能指標のパケット廃棄率  $p$  及びパケット廃棄イベント率  $q$  を他の性能指標のラウンドトリップタイム  $R T T$  及び最大セグメントサイズ  $M S S$  とともにセッション毎にセッション管理テーブル 2 4 に格納した一例を図 1 0 に示す。

#### 【 0 0 4 8 】

性能計算部 2 5 はこれらの性能指標に基づいて式 ( 6 ) または式 ( 7 ) により実効帯域幅  $B W$  を計算して出力する。

$$B W = C \times M S S / R T T / p \quad \cdots \cdots (6)$$

$$B W = C \times M S S / R T T / q \quad \cdots \cdots (7)$$

ここで、 $C$  は定数であり、使用している  $T C P$  のインプリメンテーションつまり、輻輳回避アルゴリズムの違いやネットワークのルータにおけるパケット廃棄の仕方の違いにより、 $1 \pm 0.3$  の範囲で微調整するパラメータである。

#### 【 0 0 4 9 】

上述した  $T C P$  通信性能測定装置は、図 1 に示す通信ネットワークシステムにおける通信装置のいずれかの位置に配置できるが、これらの通信装置をサーバ及びクライアントと考えた場合、その配置により次のように測定結果を利用することができる。

#### 【 0 0 5 0 】

つまり、 $T C P$  通信性能測定装置をクライアント側に配置した場合、ネットワークに同一のサービスを提供する複数のサーバがあると、クライアントが選択したサーバにより、クライアントの受けるサービス性能が異なる。このような場合、クライアントは  $T C P$  通信性能を測定して、最もサービス性能の良いサーバを選択することができる。

#### 【 0 0 5 1 】

また、 $T C P$  通信性能測定装置をサーバ側に配置した場合、サーバがクライアントにサービスを提供するとき、クライアントの処理能力やクライアントまでのネットワークの経路上の性能により、サービスの性能を調整したいことがある。例えば、ビデオや音声信号をクライアントに提供する場合、クライアントやネッ

ネットワークの性能に応じてデータ量を調整することがある。このような場合、サーバはTCP通信性能を測定して、クライアントに適した品質のサービスを提供することができる。

次に、本発明の第2の実施の形態について図面を参照して説明する。

#### 【0052】

図11は本発明の第2の実施の形態における通信ネットワークシステムを示す。この通信ネットワークシステム3の構成は、説明を簡潔にするために、図1に示す第1の実施の形態における通信ネットワークシステム1の構成の要部を模式化して示したものである。したがって、互いに通信を行う二つの通信装置31及び32と、これらの通信装置間の通信路（経路）に配置された四つのルータRTとが示されている。

#### 【0053】

TCP通信性能測定装置4はどちらか一方の通信装置に設けられる。この測定装置4を設けた通信装置を送信側通信装置と呼び、もう一方の通信装置を受信側通信装置と呼ぶ。送信側通信装置31に配置された本測定装置4は、計測用パケットをエコーリクエストパケットとして受信側通信装置32に送信し、受信側通信装置32が返送するエコーリプライパケットを受信することにより、二つの通信装置間のTCP通信性能を測定（推定）する。

#### 【0054】

図12に詳細構成を示すTCP通信性能測定装置4において、計測用パケット送受信部41は計測用パケットをエコーリクエストパケットとして受信側通信装置に対して送り、受信側通信装置が返送するエコーリプライパケットを受信し、最大セグメントサイズ（MSS）及びラウンドトリップタイム（RTT）を計測する。性能指標検出部42はラウンドトリップタイムの平均値または中間値（ $<RTT>$ ）を求めるとともに、ラウンドトリップタイムの時間変化から最大輻輳ウィンドウサイズ（W）を推定する。また、性能計算部43は最大セグメントサイズ、ラウンドトリップタイムの平均値または中間値、及び最大輻輳ウィンドウサイズの値から実効帯域幅（推定実効帯域幅）を算出する。

#### 【 0 0 5 5 】

計測用パケット送受信部 4 1 における最大セグメントサイズの計測は次のよう  
に行う。最大セグメントサイズとは、通信経路上のルータが送信できるパケット  
サイズの最大値（最大送信単位：MTU）に依存するパケットサイズである。通  
信経路上にルータが複数あるときは、各ルータの最大送信単位の最小値が最大セ  
グメントサイズになる。計測用パケット送受信部 4 1 は計測用パケットのサイズ  
を変えながらパケットを送受信することで、最大セグメントサイズを計測してそ  
の値を出力する。

#### 【 0 0 5 6 】

計測用パケット送受信部 4 1 は最大セグメントサイズを検出するために、計測  
用パケットのサイズを 1 2 8 バイトから 3 2, 7 6 8 バイトまで変えながら送信  
する。パケットのサイズが経路の最大送信単位より大きい場合は、転送できなか  
ったルータは特定メッセージ（Too Big メッセージ）を返送するので、経路  
上のルータがどれもこのメッセージを返さない最大のパケットサイズをもって、  
最大セグメントサイズとする。

#### 【 0 0 5 7 】

また、計測用パケット送受信部 4 1 における一定時間間隔でのラウンドトリッ  
プタイムの計測は次のようにして行う。計測用パケット送受信部 4 1 は計測用パ  
ケットをエコーリクエストパケットとして受信側通信装置に送信し、受信側通信  
装置が返送するエコーリプライパケットを受信することによって、二つの通信装  
置間のラウンドトリップタイムを計測する。この計測のためには、UNIX、W  
indows NT などのオペレーティングシステムで標準実装されている「p i  
n g」（p i n g - s e n d I C M P E C H O - R E Q U E S T p a c k  
e t s t o n e t w o r k h o s t s, S o f t w a r e i s a v a  
i l a b l e o n m o s t U N I X - b a s e d o p e r a t i n g  
s y s t e m s）またはUNIX上のフリーソフトウェアである「e c h o p i  
n g」（S. B o r t z m e y e r, e c h o p i n g - t e s t s a r e  
m o t e h o s t w i t h T C P o r U D P, S o f t w a r e i  
s a v a i l a b l e f r o m U R L : f t p : / / f t p . p a s t e

ur, fr/pub/computing/unix/network/echo ping/)を用いることができる。

#### 【0058】

計測用パケット送受信部41はpingを用いて受信側通信装置へICMPエコーリクエストパケットを送信してから、ICMPエコーリプライパケットを受信するまでの時間を計測し、ラウンドトリップタイムの値として出力する。echo pingを用いた場合は、ICMPエコーリクエストパケットの代わりにTCPまたはUDPのエコーリクエストパケットをTCPまたはUDPのエコーポートに送信することにより、エコーリプライパケットを受信する以外はpingの場合と同様である。計測用パケット送受信部41はecho pingによってpingの場合と同様にしてラウンドトリップタイムを計測し、その値を出力する。ここで、ICMPはInternet Control Message Protocolの略である。

#### 【0059】

ICMPパケットによる計測、UDPパケットによる計測、TCPパケットによる計測の順に、ラウンドトリップタイムの計測値は実際のTCP通信のラウンドトリップタイムに近い値になり、TCP通信の性能をより正確に測定できる。

#### 【0060】

一層詳細に述べると、ICMPはネットワーク層(IP層)のプロトコルであるが、TCP及びUDPはIP層の上のトランスポート層のプロトコルである。また、TCPはコネクション型の通信プロトコルであるが、UDPはコネクションレス型の通信のプロトコルである。このようなプロトコルの性質の違いによって、ICMP、UDP、TCPのエコーパケットを用いて測定したラウンドトリップタイムには違いが生じる。

#### 【0061】

TCP通信の性能を測定する上では、コネクション型のTCPエコーパケットを用いるのが最も正確であり、実際のTCP通信のラウンドトリップタイムに最も近いラウンドトリップタイムを計測できる。次に正確なのは同じトランスポート層のUDPエコーパケットによるラウンドトリップタイム計測である。ただし

、UDPの場合は、コネクションレスであるため、ラウンドトリップタイムはTCPの場合よりも短くなる。最も性能の悪いのはICMPEコーパケットによるラウンドトリップタイム計測である。それは、ICMPがトランスポート層ではなく、その下のIP層で動作するプロトコルであり、プロトコル処理が少なく、ラウンドトリップタイムは最も短くなるためである。

#### 【0062】

しかし、精度には大きな違いはない。むしろ計測にかかるオーバーヘッド（サーバやルータにかかる負荷）を考えると、ICMP、UDP、TCPの順にオーバーヘッドが大きくなるため、処理の軽いICMPEコーパケットを利用することが望ましい。

#### 【0063】

計測用パケット送受信部41はpingまたはechopingの利用によって一定時間間隔で計測用パケットの送受信を行い、ラウンドトリップタイムを計測してその結果を性能指標検出部42に逐次出力する。

#### 【0064】

性能指標検出部42は計測用パケット送受信部41から一定時間間隔毎に計測されたラウンドトリップタイムの値を受け取り、TCP通信を行った場合の最大輻輳ウィンドウサイズを推定して出力する。

#### 【0065】

性能指標検出部42における最大輻輳ウィンドウサイズの推定の方法を説明する。時刻 $t$ でのラウンドトリップタイムを $RTT(t)$ とおく。ラウンドトリップタイムの時系列からラウンドトリップタイムの平均値または中間値を求め、 $\langle RTT \rangle$ とする。ここで、中間値とはラウンドトリップタイムの値を小さい順に $m$ 個並べたときの $m/2$ 番目の値のことである。

#### 【0066】

次に、ラウンドトリップタイムの時系列を変動（雑音）除去のために平滑化する処理を行う。時刻 $t$ での平滑化されたラウンドトリップタイムを $SRTT(t)$ とすると、 $SRTT(t)$ は $n$ 区間移動平均または平滑化漸化式によって求める。例えば、4区間移動平均の場合、 $SRTT(t)$ は時刻 $t-3$ 、 $t-2$ 、 $t$

- 1、 $t$ でのRTTの値から式(8)で求める。

【0067】

$$SRTT(t) = (RTT(t-3) + RTT(t-2) + RTT(t-1) + RTT(t)) / 4 \dots\dots (8)$$

平滑化漸化式の場合、式(9)によりSRTT( $t$ )を求める。

【0068】

$$SRTT(t) = \alpha \times SRTT(t-1) + (1-\alpha) \times RTT(t) \dots\dots (9)$$

ここで、 $\alpha$ は0から1までの間の値を取る平滑化係数である。この平滑化係数 $\alpha$ はラウンドトリップタイムの瞬間的な雑音を除去し、ラウンドトリップタイムを平滑化するためのパラメータである。平滑化されたラウンドトリップタイムを求める際に、一つ前の時間の平滑化されたラウンドトリップタイムと現在のラウンドトリップタイムとをどれぐらいの比率で評価するかによって、平滑化係数 $\alpha$ の値を調整する。

【0069】

過去の平滑化されたラウンドトリップタイムの値を尊重するならば、 $\alpha$ の値は1に近い値を採り、現在のラウンドトリップタイムの値を大きく取り入れたいならば、 $\alpha$ の値は0に近い値を採る。元のラウンドトリップタイムの瞬間的な変動が激しいならば、 $\alpha$ の値は1に近い値を設定し、そうでないならば0に近い値に設定すればよい。

【0070】

現時点の値だけでよい平滑化漸化式の場合、過去の何個かの値を必要とする移動平均による場合よりも、RTTの平滑化をより少ない記憶領域で行うことができる。

【0071】

次に、時刻 $t$ での平滑化したラウンドトリップタイムSRTTの時間微分DRTT( $t$ )を式(10)で求める。

$$DRTT(t) = SRTT(t) - SRTT(t-1) \dots\dots (10)$$

このようにして求めたDRTTの時系列に対しても平滑化処理を行う。平滑化

したDRTTの値をSDRTTとすると、SDRTT(t)はn区間移動平均または平滑化漸化式によって式(11)または式(12)のように求める。なお、式(11)では、n=4の場合を示す。

【0072】

$$\begin{aligned} \text{SDRTT}(t) = & (\text{DRTT}(t-3) + \text{DRTT}(t-2) \\ & + \text{DRTT}(t-1) + \text{DRTT}(t)) / 4 \\ & \dots\dots (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SDRTT}(t) = & \alpha \times \text{SRTT}(t-1) + (1-\alpha) \\ & \times \text{RTT}(t) \dots\dots (12) \end{aligned}$$

SDRTT(t)の値の変化を時間を追って追跡し、SDRTTの値が正から負へ変わるとき、つまりSRTTが極大になる時点をすべて検出する。この時点でルータにおいてパケット廃棄が起きていると推定する。k-1回目のパケット廃棄が起きてから、k回目のパケット廃棄が起きるまでの時間間隔L(k)(秒)を式(13)で求める。

【0073】

$$\begin{aligned} L(k) = & (\text{SDRTTが}k\text{回目に正から負になった時刻}) \\ & - (\text{SDRTTが}(k-1)\text{回目に正から負になった時刻}) \\ & \dots\dots (13) \end{aligned}$$

L(k)の平均値または中間値を求め、その値を<L>とおく。最大輻輳ウィンドウサイズの推定値Wはラウンドトリップタイムの平均値または中間値<RTT>とパケット廃棄イベントの周期の平均値<L>とを用いて式(14)で求める。

【0074】

$$W = 2 \times \langle L \rangle / \langle \text{RTT} \rangle \dots\dots (14)$$

性能指標検出部42はラウンドトリップタイムの平均値または中間値<RTT>の値と最大輻輳ウィンドウサイズの推定値Wの値とを出力する。

【0075】

性能計算部43は計測用パケット送受信部41から最大セグメントサイズMS

Sを受け取ると共に、性能指標検出部42からラウンドトリップタイムの平均値または中間値<RTT>と最大輻輳ウィンドウサイズの推定値Wとを受け取り、TCP通信を行った場合の実効帯域幅の推定値BWを求めて出力する。推定実効帯域幅BWは式(15)によって求める。

【0076】

$$BW = (3/4) \times W \times MSS / <RTT> \dots\dots (15)$$

上述のように実効帯域幅BWを計算できる根拠を示す。TCP通信ではパケットを上記スライディングウィンドウ方式で出力制限しながら送出する。ウィンドウサイズという単位で一度に出力するパケット数を制限し、ウィンドウサイズ分のパケットが転送されたことが受信側通信装置からのACK(確認)パケットによって確認されるのを待ってから、次のウィンドウサイズ分のパケットを出力する。ウィンドウサイズは、TCP通信が進むにつれて時間を追って変化する。TCPはスロースタートと輻輳回避との二つのアルゴリズムを組み合わせてウィンドウサイズを調整している。

【0077】

TCPのコネクションが設立した直後はスロースタートを行って、ウィンドウサイズを値1から指数関数的に増加させていくが、やがてネットワークが輻輳するようになると、パケットが廃棄され、ACKパケットが到着しなくなる。送信側通信装置は、ACKパケットが一定時間内に到着しない場合、ネットワークが輻輳していると判断し、ウィンドウサイズを調整する。ウィンドウサイズの調整は輻輳回避アルゴリズムによって行われる。

【0078】

パケット廃棄が起こる、つまりACKパケットが一定時間内に到着しないと、ウィンドウサイズを半分に減らし、その後、再びパケット廃棄が起こるまで一つずつウィンドウサイズを増やしていく。パケット廃棄が起こると、またウィンドウサイズを半分に減らして同じことを繰り返す。したがって、TCP通信の性能は、主に輻輳回避がどれくらいの時間間隔で起きるか、つまりパケット廃棄の度によって決まる。

【0079】

パケット廃棄が起きたとき、TCPの輻輳回避アルゴリズムは輻輳シグナルとして理解し、ウィンドウサイズを半減させる。このとき、一度に複数のパケットが廃棄されても、一つの輻輳シグナルとしてみなす。これをパケット廃棄イベントと呼ぶ。パケット廃棄イベントが起こるのは、ルータのバッファ（キュー）があふれたときであり、その直前には計測用パケットのラウンドトリップタイムが急激に大きくなることが観察される。したがって、ラウンドトリップタイムが極大になる時点を検出すれば、TCP通信を行った場合の最大輻輳ウィンドウサイズの半減のタイミングを捉えることができる。

#### 【0080】

この関係を図13に示している。最大輻輳ウィンドウサイズ $W$ とラウンドトリップタイムの平均値または中間値 $\langle R T T \rangle$ とパケット廃棄イベントの時間間隔 $L$ との間には次式(16)が成立する。

#### 【0081】

$$L = W / 2 \times \langle R T T \rangle \dots \dots (16)$$

よって、最大輻輳ウィンドウサイズ $W$ は式(17)で求められる。

$$W = 2 \times L / \langle R T T \rangle \dots \dots (17)$$

このとき、送信されたパケット数は図13中の着色部分の面積より $3W^2/8$ であるから、推定実効帯域幅 $BW$ は次のように式(18)から求めることができる。なお、この明細書において、 $^2$ は2乗を意味する。

#### 【0082】

$$\begin{aligned} BW &= (\text{送信されたパケットのバイト数}) / (\text{送信にかかった時間}) \\ &= (3W^2 / 8 \times MSS) / (W / 2 \times \langle R T T \rangle) \\ &= (3 / 4) \times W \times MSS / \langle R T T \rangle \dots \dots (18) \end{aligned}$$

上述した第2の実施の形態によると、計測用パケットとして10～20ppsのエコーパケットを送信すればよいが、TCP通信を模倣したシミュレーションプログラムを実行する従来技術では、100～1,000ppsの計測用パケットを送信する必要がある。

次に、本発明の第3の実施の形態について図面を参照して説明する。

#### 【 0 0 8 3 】

図 1 4 に詳細構成を示すネットワーク通信性能測定装置 5 は、上述した第 2 の実施の形態の T C P 通信性能測定装置 4 と同様に、図 1 1 に示す通信ネットワークシステム 3 の送信側通信装置 3 1 に配置される。この通信性能測定装置 5 は計測用パケットをエコーリクエストパケットとして受信側通信装置 3 2 に送信し、受信側通信装置 3 2 が返送するエコーリプライパケットを受信することにより、二つの通信装置間の T C P 通信や U D P 通信などの性能つまり、ネットワークの通信性能を測定（推定）する。

#### 【 0 0 8 4 】

この通信性能測定装置 5 において、計測用パケット送受信部 5 1 は計測用パケットとしてエコーリクエストパケット（ I C M P ）を受信側通信装置に対して送信し、受信側通信装置が返送するエコーリプライパケット（ I C M P ）を受信し、ラウンドトリップタイム（ R T T ）を計測する。ラウンドトリップタイム増加割合判定部 5 2 は計測用パケットのラウンドトリップタイムが直前の計測用パケットのラウンドトリップタイムより長くなる割合を判定する。また、性能判定部 5 3 は、計測用パケットのラウンドトリップタイムが直前の計測用パケットのラウンドトリップタイムより長くなる割合が閾値を超えているとき、計測用パケットの転送速度がネットワークの経路の利用可能帯域幅（推定実効帯域幅と同意に考えてもよい）を超えていると判断することにより、ネットワーク経路の利用可能帯域幅が予め定めたある値を超えているかどうかを判断する。

#### 【 0 0 8 5 】

ラウンドトリップタイムの計測は次のようにして行う。計測用パケット送受信部 5 1 は、計測用パケットの I C M P エコーリクエストパケットを受信側通信装置に送信し、受信側通信装置が返送する I C M P エコーリプライパケットを受信することによって、二つの通信装置間のラウンドトリップタイムを計測する。この計測ためには、U N I X 、 W i n d o w s N T などのオペレーティングシステムで標準実装されている上記「 p i n g 」を用いることができる。

#### 【 0 0 8 6 】

計測用パケット送受信部 5 1 は p i n g の利用により受信側通信装置へ I C M

Pエコーリクエストパケットを送信する。受信側通信装置はICMPエコーリプライパケットを送信側通信装置に返送する。計測用パケット送受信部51はICMPエコーリクエストパケットを送信してから、ICMPエコーリプライパケットを受信するまでの時間を計測し、ラウンドトリップタイムの値として逐次記録する。

#### 【0087】

性能判定部53は測定用パケット送受信部51で計測した計測用パケットの送信間隔とラウンドトリップタイムとからネットワークの利用可能帯域幅を推定する。

#### 【0088】

利用可能帯域幅の推定の手順を図15を参照して説明する。利用可能帯域幅を調べたい経路に対して、測定用パケット送受信部51が大きさ(サイズ)EbitのICMPエコーリクエストパケットをn個、送信間隔δ秒で送信する。そして、受信側通信装置から返送されるICMPエコーリプライパケットを受信して、それぞれのパケットのラウンドトリップタイム(RTT1、RTT2、...、RTTn)を計測する(ステップ:S11)。

#### 【0089】

性能判定部53では、ラウンドトリップタイムが $RTT_{i+1} > RTT_i$ となるような割合Qを調査するため式(19)で計算する(S12)。

#### 【0090】

【数1】

$$Q = L / (n - 1)$$

$$L = \sum_{i=0}^{n-1} M_i$$

$$M_i = \begin{cases} 1 & (RTT_{i+1} > RTT_i) \\ 0 & (RTT_{i+1} \leq RTT_i) \end{cases} \quad (0 \leq i \leq n-1) \dots\dots (19)$$

性能判定部53は、割合Qが閾値R(0.8程度)以上( $Q \geq R$ )ならば、測

定用パケットの転送速度 ( $E/\delta$  bps) は経路の利用可能帯域幅を超えていると判断する。つまり、UDPのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないようなプロトコルに則って通信を行う場合の経路の利用可能帯域幅  $BW_u$  (bps) は、 $BW_u < E/\delta$  であると判断する。また、TCPに則って通信を行う場合の利用可能帯域幅  $BW_t$  (bps) は  $BW_t < 0.75 E/\delta$  であると判断する (S13、S14、S15)。

#### 【0091】

次に、上記のように利用可能帯域幅を計算できる根拠を示す。IPネットワークの経路におけるパケットの遅延の挙動について図16のようなルータモデルで考える。ここで、ルータRTの最大パケット通過性能を  $\mu$  pps、ルータRTへの計測用パケットの流入量を  $P$  pps、計測用パケット以外のパケットの流入量を  $I$  pps とする。また、計測用パケットがルータRTに流入する時間間隔  $\delta$  (sec) =  $1/P$  である。また、計測用パケットの数を  $n$  個とし、計測用パケットのサイズを  $E$  bit とする。さらに、それぞれの計測用パケットのラウンドトリップタイムを  $RTT_1$ 、 $RTT_2$ 、...、 $RTT_n$  (sec) とする。なお、経路の利用可能帯域幅は  $\mu - I$  pps とする。

#### 【0092】

ルータRTへのパケット流入量がルータの最大通過性能を超えない ( $P + I \leq \mu$ ) とし、パケットはルータRTのキューに蓄積されないので、計測用パケットの  $RTT$  は全てほぼ等しくなる。一方、ルータRTへのパケット流入量がルータRTの最大通過性能を超える ( $P + I > \mu$ ) とときには、計測用パケットはキューに順次蓄積されていくので、 $i + 1$  番目の計測用パケットの処理時間は  $i$  番目のパケットの処理時間より長くなる ( $RTT_{i+1} > RTT_i$ ) ことが多くなる。

#### 【0093】

このとき、計測用パケットの転送速度  $P$  ( $= 1/\delta$ ) は経路の利用可能帯域幅の上限を超えており、現在この経路の利用可能帯域幅は  $P$  pps 未満 (つまり、 $PE$  ( $= E/\delta$ ) bps 未満) であると推測できる。UDPのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないようなプロトコルを用いて通信を行う場合には、この利用可能帯域幅で通信が可能である。また、TCPでの利用可能帯域幅は0。

75 P p p s 未満 (つまり、 $0.75 P E (= 0.75 E / \delta)$  b p s 未満) であると推測できる。

#### 【0094】

ここで、TCPの利用可能帯域幅が0.75 P p p s 未満であると推測できる理由について述べる。TCPではウィンドウを用いたフロー制御を行っている。TCPではウィンドウサイズ分の量のパケットを送出した後、それらが無事に送信されたことを確認すると、ウィンドウサイズを大きくする。一方、経路の途中でパケットの廃棄が行われたことを確認すると、ウィンドウサイズを半減させる。このような動作を繰り返すと、TCPにおけるウィンドウサイズの挙動は図17に示すようになる。

#### 【0095】

図17において、ウィンドウサイズが最大値Wになっている時刻は、パケット廃棄が起きる直前なので、経路の最大性能が出ていると考えられる。そして、平均ウィンドウサイズは最大ウィンドウサイズの0.75倍であるので、TCPは平均して経路の最大性能の0.75倍の性能しか出ないことになる。

#### 【0096】

実際に、ある経路に対して計測用パケットの出力速度 (転送速度P) を変化させながら  $R T T_{i+1} > R T T_i$  となる割合Qを調査した結果を図18に示す。この結果では、パケットがルータRTにキューイングされていると判断するための閾値Rを0.8とすると、UDPなどのようなそれ自体では転送速度の制御を行わないようなプロトコルを利用した場合の利用可能帯域幅は920 p p s 程度であり、TCPを利用した場合の利用可能帯域幅は  $920 \times 0.75 = 690$  p p s 程度であると推測できる。

#### 【0097】

このように、計測用パケットのRTTが  $R T T_{i+1} > R T T_i$  となるかどうかを調べることにより、計測用パケットの速度Pが経路のUDPでの利用可能帯域幅を超えているかを判定することができる。また、0.75 P がTCPでの利用可能帯域幅を超えているかを判定することができる。

#### 【0098】

上記の手法を用いることにより、TCPやUDPを用いた場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅が $X \text{ bps}$ を超えているかどうかを調べることができる。この $X$ を二分法により変化させながら、上記の手法で繰り返し、ネットワーク性能を調査することで、ネットワークの利用可能帯域幅を推定することができる。

#### 【0099】

この二分法による処理の手順について図19を参照して説明する。まず、次のように初期設定を行う(S21)。 $A = 1$ とする。 $X$ に計測用パケットの転送速度の初期値( $1,000 \text{ pps}$ )をいれる。ループ回数 $Z$ は8回とする。閾値 $R$ は $0.8$ とし、1ループ毎に出力する計測パケットの数 $n$ は11とし、計測パケットのサイズ $E$ は $12,000 \text{ bit}$ とする。

#### 【0100】

速度 $X \text{ pps}$ でサイズが $E \text{ bit}$ の計測用パケットを出力し、ネットワークの経路の利用可能帯域幅が $X \text{ pps}$ を超えているかどうかをラウンドトリップタイムの計測に基づいて調査する(S22)。

#### 【0101】

経路の利用可能帯域幅が $X \text{ pps}$ を超えているならば( $Q \geq R$ のとき)、 $X = X - X/2$ とする。一方、経路の利用可能帯域幅が $X \text{ pps}$ を超えていなければ( $Q < R$ のとき)、 $X = X + X/2$ とする(S23、S24、S25、S26)。

#### 【0102】

$A = A + 1$ とする(S27)。 $A < Z$ ならば、ステップS22へ戻る。また、 $A \geq Z$ ならば、終了する(S28)。この結果、 $X \text{ pps}$ ( $X E \text{ bps}$ )近辺がUDPを利用した場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅 $BW_u$ になる。TCPを用いた場合の経路の利用可能帯域幅 $BW_t$ は $0.75 X \text{ pps}$ ( $0.75 X E \text{ bps}$ )近辺になる。

#### 【0103】

次に、二分法に代えてはさみうち法により利用可能帯域幅を求める手法について図20を参照して説明する。

まず、はさみうち法について概説すると、この手法は関数 $f(x)$ について、

$f(a) = 0$  となる  $a$  を求めるための代数方程式の解法であり、次の手順を採る。

【0104】

(1) 変数  $x_1$ 、 $x_2$  の初期値を  $f(x_1) < 0$ 、 $f(x_2) > 0$  となるように選択する。

(2)  $XY$  平面上の2つの点  $(x_1, f(x_1))$ 、 $(x_2, f(x_2))$  を直線  $L_1$  で結ぶ。

【0105】

(3)  $X$  軸と  $L_1$  との交点を  $(x_3, 0)$  とする。

(4)  $f(x_1) * f(x_2) < 0$  なので、 $f(x_3)$  は  $f(x_1)$  と  $f(x_2)$  のどちらかと符号が等しい。 $f(x_3) * f(x_1) > 0$  のとき、 $x_1$  に  $x_3$  を代入し、 $f(x_3) * f(x_1) > 0$  のとき、 $x_2$  に  $x_3$  を代入して(2)以降の作業を繰り返す。 $x_1$  と  $x_2$  は次第に値  $a$  に収束する。

【0106】

続いて、このはさみうち法により利用可能帯域幅を求める手順について説明する。まず、次のような初期設定を行う(S31)。 $A = 1$  とする。 $X_1 = 0$ 、 $Y_1 = 0.5$  とし、 $X_2$  に計測レンジの最大値( $pps$ )を入れる。計測レンジの最大値は「この値よりは利用可能帯域幅が下である」ということが分かっている値である。例えば、転送速度  $10Mbps$  のイーサネットであれば、 $X_2 = 10,000,000/E$  とする。ここで、 $E$  は計測用パケットのサイズ( $12,000bit$ )である。また、ループ回数  $Z$  は8回とする。さらに、パケットがルータにキューイングされていると判断するための閾値  $R$  は0.8とし、1ループ毎に出力する計測パケットの数  $n$  は11とする。

【0107】

速度  $X_2pps$  で、サイズが  $Ebit$  の計測用パケットを出力し、前のパケットのラウンドトリップタイムがその直後のパケットのラウンドトリップタイムを超えている確率  $Y_2$  を調査する(S32、S33)。 $XY$  平面上の座標  $(X_1, Y_1)$  と  $(X_2, Y_2)$  を通る直線を  $Y$  軸方向に  $-R$  だけ平行移動した直線が  $X$  軸と交わる点を  $(X_3, 0)$  とすると、 $X_3 = X_1 - (X_1 - X_2)(Y_1 - R)$

) / (Y1 - Y2) となる (S34)。

【0108】

速度  $X3 \text{ pps}$  でサイズが  $E \text{ bit}$  の計測用パケットを出力し、前のパケットのラウンドトリップタイムがその直後のパケットのラウンドトリップタイムを超えている確率  $Y3$  を調査する (S35、S36)。(Y1 - R) (Y3 - R) < 0 ならば  $X2 = X3$ 、 $Y2 = Y3$  とし、そうでなければ  $X1 = X3$ 、 $Y1 = Y3$  とする (S37、S38、S39)。

【0109】

$A = A + 1$  とする (S40)。 $A < Z$  ならばステップ S34 に戻る。また、 $A \geq Z$  ならば終了する (S41)。この結果、 $X3 \text{ pps}$  ( $EX3 \text{ bps}$ ) 近辺が UDP を利用した場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅  $BW_u$  になる。TCP を利用した場合の経路の利用可能帯域幅  $BW_t$  は  $0.75 X3 \text{ pps}$  ( $0.75 EX3 \text{ bps}$ ) 近辺になる。

【0110】

また、計測用パケットの転送速度を単調増加法または単調減少法で変化させても利用可能帯域幅を求めることが可能である。

単調増加法の処理手順を示す図 21 を参照すると、まず次のように初期設定を行う (S51)。X に計測用パケットの転送速度の初期値 (1 から  $10 \text{ pps}$ ) を入れる。また、計測用パケットの転送速度の増分を  $\Delta X$  ( $10$  から  $100 \text{ pps}$ ) とする。さらに、閾値 R を  $0.8$ 、1 ループ毎に出力する計測用パケットの数  $n$  を  $11$ 、及び計測用パケットのサイズ  $E \text{ bit}$  を  $12,000$  とする。

【0111】

速度  $X \text{ pps}$  でサイズが  $E \text{ bit}$  の計測用パケットを出力し、ネットワークの経路の利用可能帯域幅が  $X \text{ pps}$  を超えているかどうかをラウンドトリップタイムの計測に基づいて調査する (S52、S53)。経路の利用可能帯域幅が  $X \text{ pps}$  を超えていなければ ( $Q < R$  のとき)  $X = X + \Delta X$  とし、ステップ S52 へ戻る (S54、S55)。

【0112】

利用可能帯域幅が  $X \text{ pps}$  を超えているならば ( $Q \geq R$  のとき) 終了する (S

54)。Xpps (Xbps) 近辺がUDPを利用した場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅BWuになる。TCPを利用した場合の経路の利用可能帯域幅BWtは0.75Xpps (0.75Xbps) 近辺になる。

#### 【0113】

次に、単調減少法の処理手順を示す図22を参照すると、まず次のように初期設定を行う(S61)。Xに計測用パケットの転送速度の初期値として、計測レンジの最大値(1,000pps)を代入する。また、計測用パケットの転送速度の増分を $\Delta X$ (-10から-100pps)とする。さらに、閾値Rを0.8、1ループ毎に出力する計測用パケットの数nを11、及び計測用パケットのサイズEbitを12,000とする。

#### 【0114】

速度XppsでサイズがEbitの計測用パケットを出力し、ネットワークの経路の利用可能帯域幅がXppsを超えているかどうかをラウンドトリップタイムの計測に基づいて調査する(S62、S63)。経路の利用可能帯域幅がXppsを超えていれば( $Q > R$ のとき) $X = X + \Delta X$ とし、ステップS62へ戻る(S64、S65)。

#### 【0115】

利用可能帯域幅がXppsを超えていなければ( $Q \leq R$ のとき)終了する(S64)。Xpps (Xbps) 近辺がUDPを利用した場合のネットワーク経路の利用可能帯域幅BWuになる。TCPを利用した場合の経路の利用可能帯域幅BWtは0.75Xpps (0.75Xbps) 近辺になる。

#### 【0116】

例えば、TCPの利用可能帯域幅計測ツール「Treno」(M. Matthews and J. Mahdavi, "Diagnosis Internet Congestion with a Transport Layer Performance Tool, " Proceedings of INET 96, Montreal, June 1996.)では、20秒間の計測に10,000個以上のパケットを使用するケースもある。しかし、二分法やはさみうち法を用いる本発明における手法では、1回のループにつきパケットを20個送

出し、8回のループで利用可能帯域幅を推定するとすれば、160個のパケットで計測が可能になる。また、単調増加法や単調減少法を用いる本発明における手法では、計測用パケットの転送速度を10～1,000ppsの間で10ppsきざみで変化させ、1回のループにつきパケットを20個送出して利用可能帯域幅を推定するとすれば、2,000個のパケットで計測が可能になる。

#### 【0117】

また、TrenoではTCPの挙動をシミュレートするために、パケットの送受信を繰り返し、ウィンドウサイズを変化させるだけの時間が必要であり、少なくとも10秒から60秒位の計測時間が必要である。しかし、上述した二分法やはさみうち法を用いれば、数秒のオーダーで高速な計測が可能になる。

#### 【0118】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、OSI参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるTCPに則って送受信されているTCP通信の可変長パケットに基づいて得られるラウンドトリップタイム及び最大セグメントサイズの双方と平均輻輳ウィンドウサイズ、パケット廃棄率及びパケット廃棄イベント率のいずれかをと性能指標として実効帯域幅（転送速度）を求めることにより、特別に多数個の計測用パケットをネットワークに送信してネットワークに負荷をかけることなく、ネットワークの通信経路上でTCP通信の性能を測定できる。

#### 【0119】

また、本発明によれば、少数個の計測用パケットを一定時間間隔で送受信することにより、ラウンドトリップタイムの時間変化からTCP通信を行った場合の最大輻輳ウィンドウサイズを推定することができ、ラウンドトリップタイムの平均値または中間値と、最大セグメントサイズと、推定された最大輻輳ウィンドウサイズとからTCP通信を行った場合の実効帯域幅の推定値を求めることができる。これにより、多数個の計測用パケットを送信してネットワークに負荷をかけることなく、TCP通信の性能を推定することができる。

#### 【0120】

さらに、本発明によれば、少数個の計測用パケットを可変な一定時間間隔で送

受信することによって、ラウンドトリップタイムが増加する割合から利用可能帯域幅（実効帯域幅）の推定値を求めることができる。これにより、多数個の計測用パケットを送信してネットワークに負荷をかけることなく、短時間でネットワーク性能（TCPやUDP通信の性能）を推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態における通信ネットワークシステムを示す。

【図2】図1に示す通信ネットワークシステムに配置されるTCP通信性能測定装置の構成を示す。

【図3】TCPパケットのログ情報を示す。

【図4】TCPコネクション設立時のパケットのやりとりを示す。

【図5】スライディングウィンドウ方式を説明するための図である。

【図6】ウィンドウサイズの時間変化の一例を示す。

【図7】図2に示すTCP通信性能測定装置のセッション管理テーブルに格納される性能指標の一例を示す。

【図8】TCPパケットのシーケンス番号及びパケット廃棄について説明するための図である。

【図 9】 パケット廃棄数及びパケット廃棄イベント数の計数手法の一例を示す。

【図 10】 図 2 に示す T C P 通信性能測定装置のセッション管理テーブルに格納される性能指標の他の例を示す。

【図 11】 本発明の第 2 及び第 3 の実施の形態における通信ネットワークシステムを示す。

【図 12】 第 2 の実施の形態における T C P 通信性能測定装置の構成図である。

【図 13】 第 2 の実施の形態におけるラウンドトリップタイムの時間変化と輻輳ウィンドウサイズの変化との関係を示す。

【図 14】 本発明の第 3 の実施の形態におけるネットワーク通信性能測定装置の構成図である。

【図 15】 第 3 の実施の形態の処理手順を示す。

【図 16】 ネットワーク経路における遅延のルータモデルを説明するための図である。

【図 17】 T C P におけるウィンドウサイズの挙動を示す。

【図 18】 ラウンドトリップタイムの増加割合の調査例を示す。

【図 19】 二分法による利用可能帯域幅推定の手順を示す。

【図 20】 はさみうち法による利用可能帯域幅推定の手順を示す。

【図 21】 単調増加法による利用可能帯域幅推定の手順を示す。

【図 22】 単調減少法による利用可能帯域幅推定の手順を示す。

#### 【符号の説明】

- 1、3      通信ネットワークシステム
- 11、12、13、14、15      ネットワーク
- 16、17、18、31、32      通信装置
- R T      ルータ
- V C 1、V C 2      通信路
- 2、4、5      通信性能測定装置
- 21      パケットモニタリング部

2 2、4 2 性能指標検出部

2 3 セッション管理部

2 4 セッション管理テーブル

2 5、4 3 性能計算部

4 1、5 1 計測用バケット送受信部

5 2 ラウンドトリップタイム増加割合判定部

5 3 性能判定部

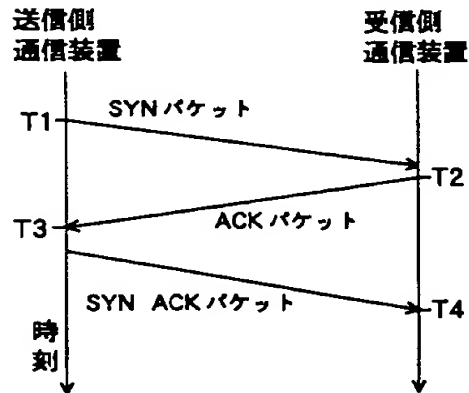


TCP パケットのログ情報を示す図

アドレス				
送受信時刻	送信側通信装置	受信側通信装置	パケット種別	パケットサイズ(バイト)
14:23:52	13.204.301.562	20.213.223.442	SYN	34
14:24:03	20.213.223.442	13.204.301.562	ACK	34
14:24:10	13.204.301.562	20.213.223.442	DATA	512
14:24:12	41.213.223.442	13.204.301.562	SYN	34

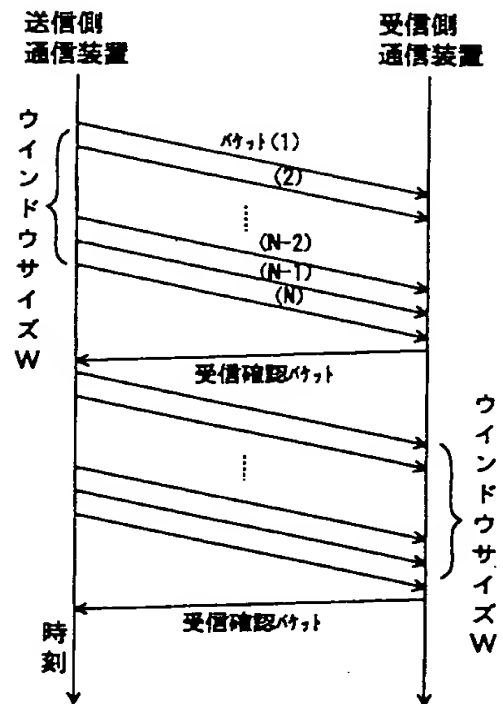
【図 4】

TCP コネクション設立時のパケットのやりとりを示す図



【図 5】

スライディングウィンドウ方式を説明するための図



【 図 6 】

ウィンドウサイズの時間変化の一例を示す図

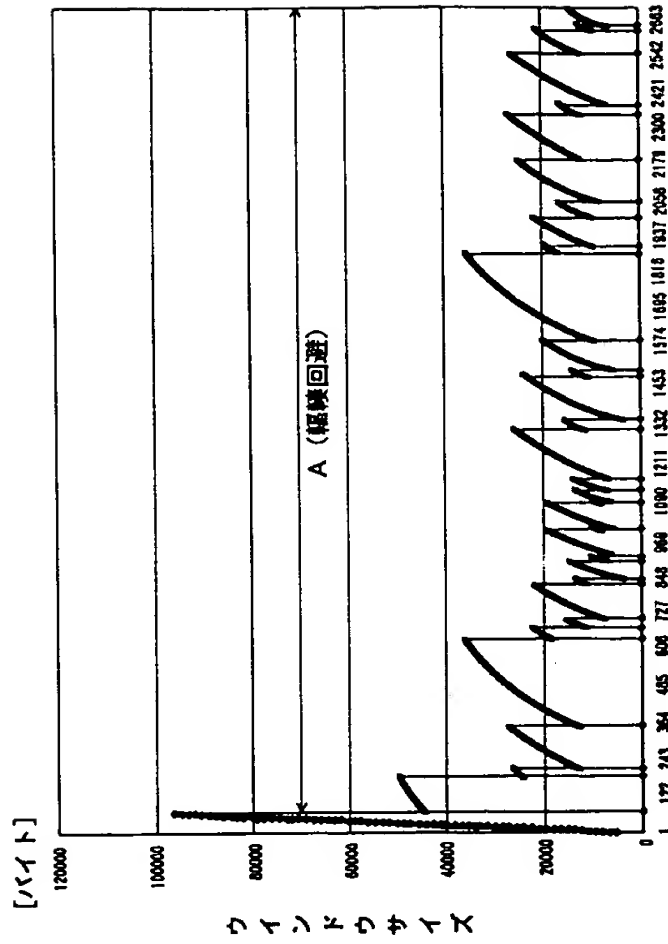


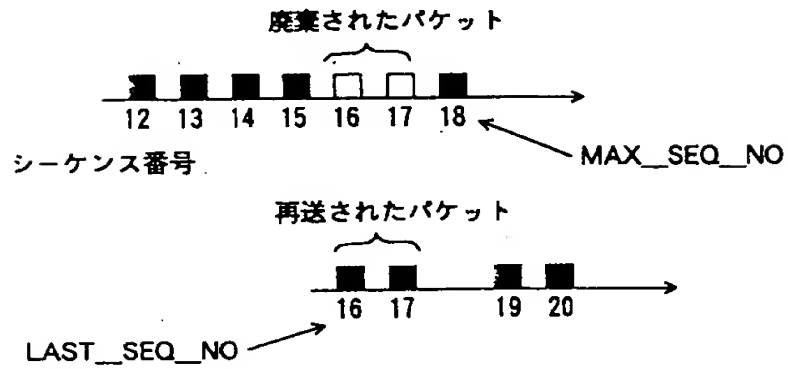
図2に示すTCP通信性能測定装置のセッション管理テーブルに格納される性能指標の一例を示す図

24

セッション名	(A,B)
送信側通信装置のアドレス	13.204.301.562
受信側通信装置のアドレス	20.213.223.442
セッション開始時刻	16:48:06.166396
セッション終了時刻	16:48:08.236911
総バケット数	604
総データ量	819202 バイト
最大セグメントサイズ	1460 バイト
平均輻輳ウィンドウサイズ	8 バケット
ラウンドトリップタイム	12msec

【図8】

TCP パケットのシーケンス番号及びパケット廃棄  
について説明するための図



【図 9】

パケット廃棄数及びパケット廃棄イベント数の計数手法の一例を示す図

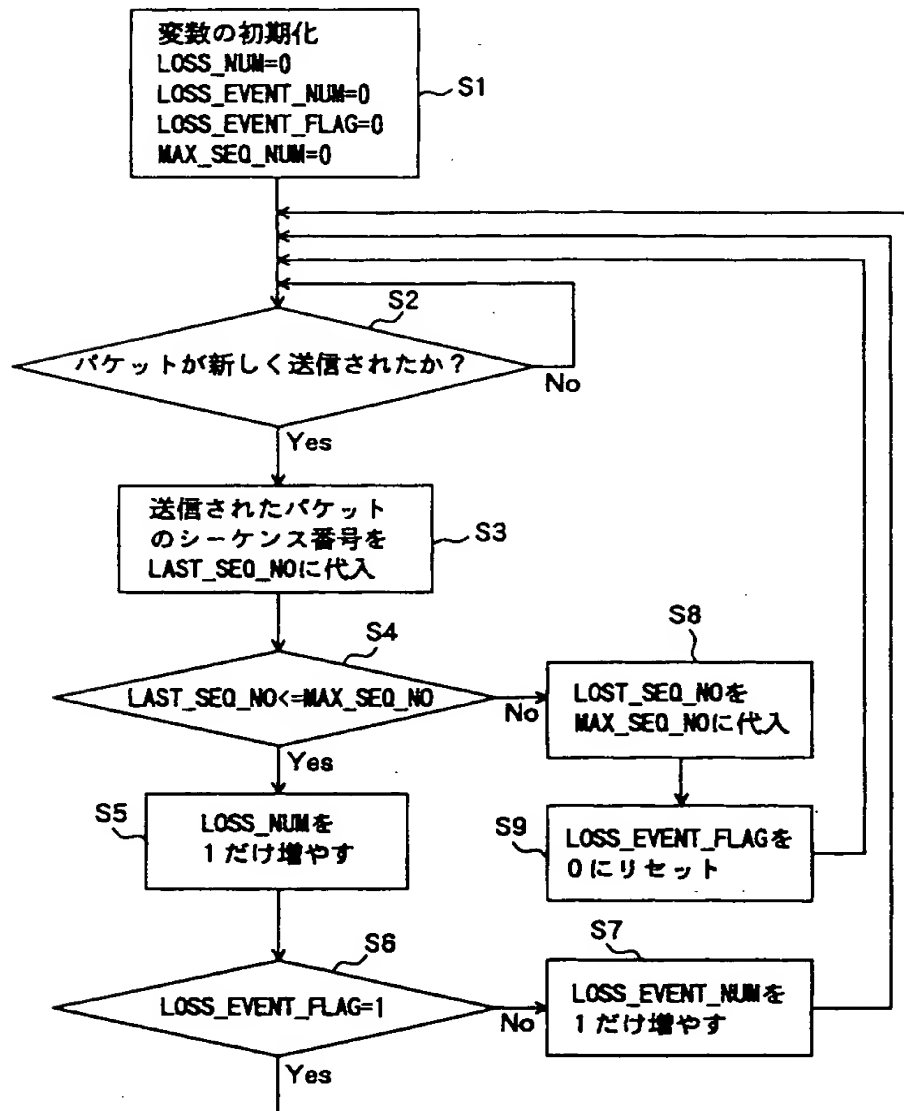


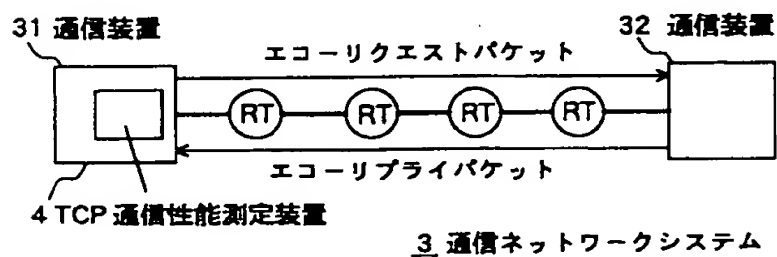
図2に示すTCP通信性能測定装置のセッション管理テーブルに格納される性能指標の他の例を示す図

24

セッション名	(A,B)
送信側通信装置のアドレス	13.204.301.562
受信側通信装置のアドレス	20.213.223.442
セッション開始時刻	16:48:06.166396
セッション終了時刻	16:48:08.236911
総パケット数	604
総データ量	819202 バイト
最大セグメントサイズ	1460 バイト
ラウンドトリップタイム	12msec
パケット廃棄率	0.19
パケット廃棄イベント率	0.08

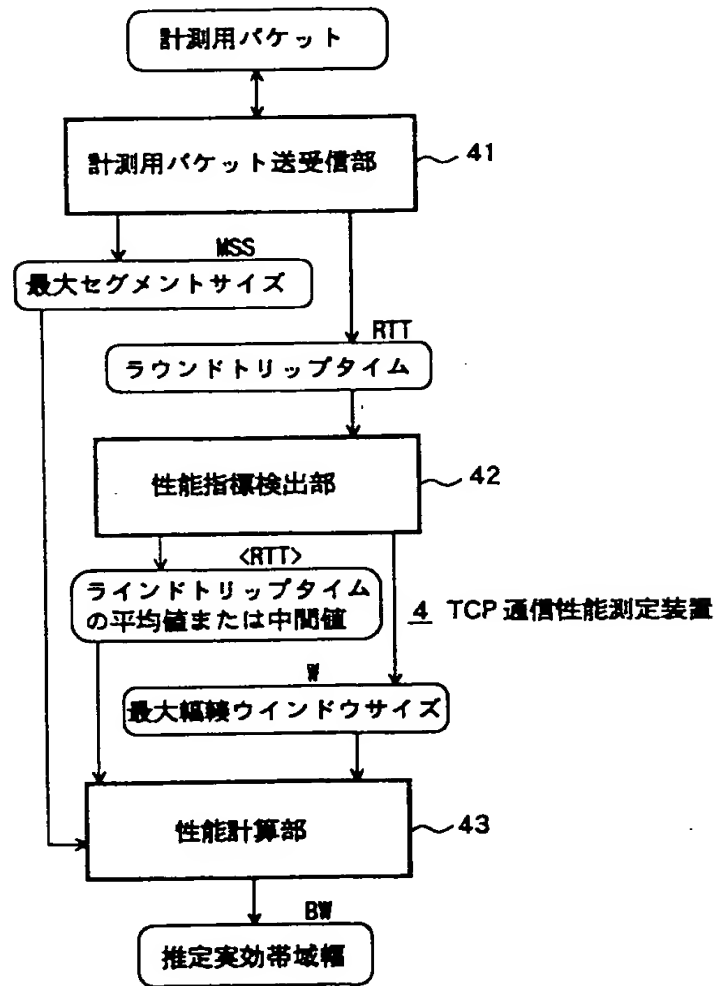
【図11】

本発明の第2及び第3の実施の形態における通信ネットワークシステムを示す図



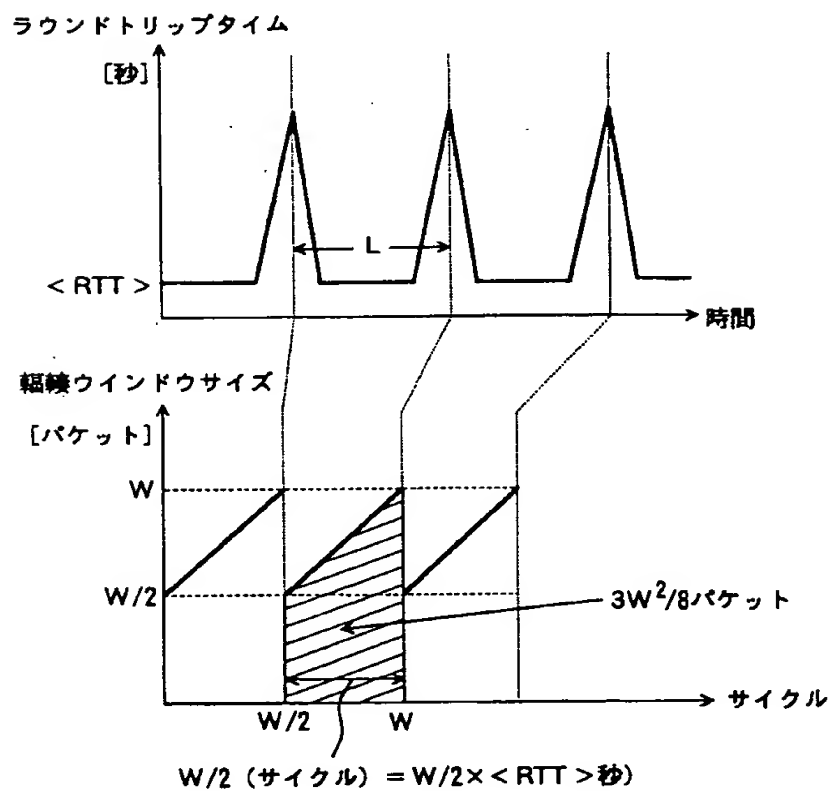
【図12】

第2の実施の形態におけるTCP通信性能測定装置の構成図



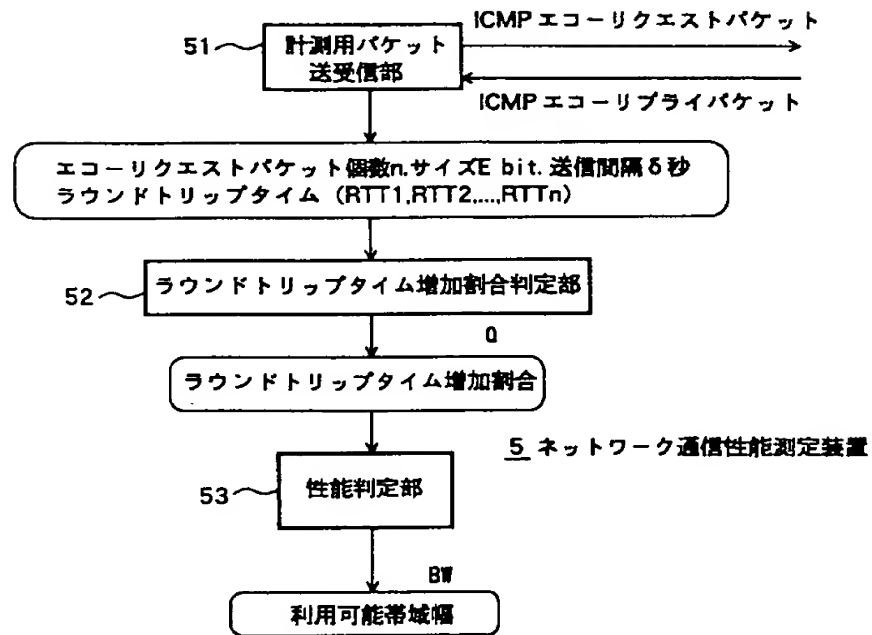
【図13】

第2の実施の形態におけるラウンドトリップタイムの時間変化と  
輻輳ウィンドウサイズの変化との関係を示す図



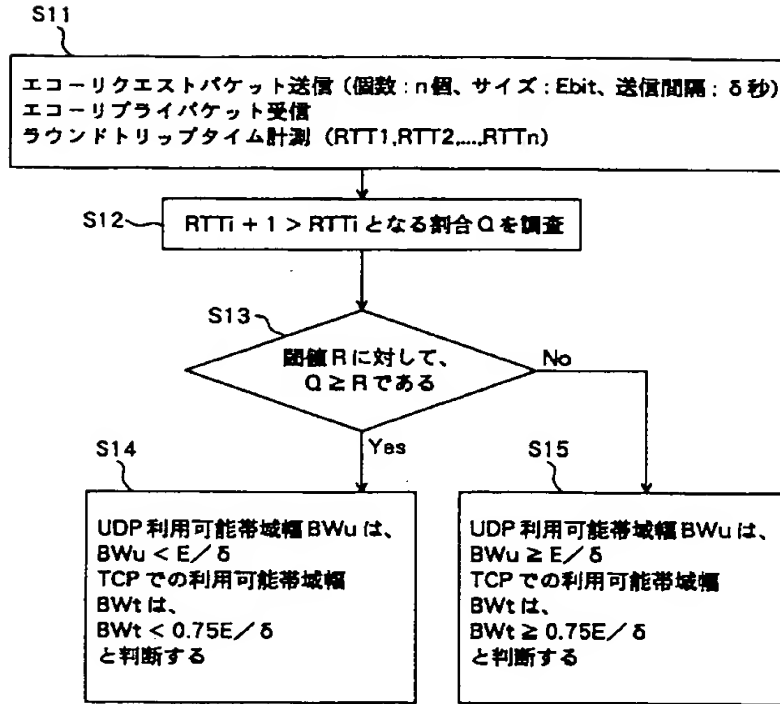
【図 14】

本発明の第3の実施の形態におけるネットワーク通信性能測定装置の構成図



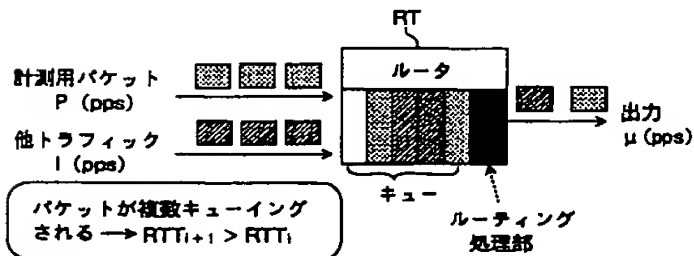
【図15】

第3の実施の形態の処理手順を示す図



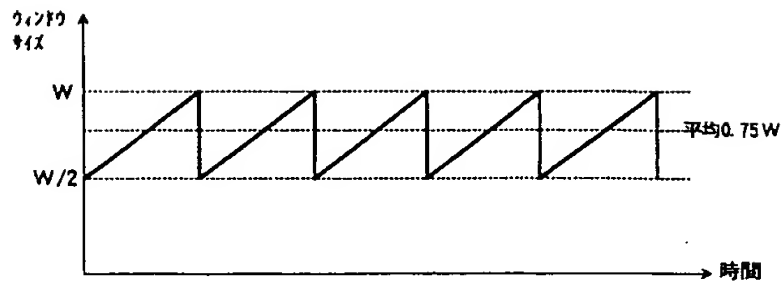
【図 16】

ネットワーク経路における遅延のルータモデルを説明するための図



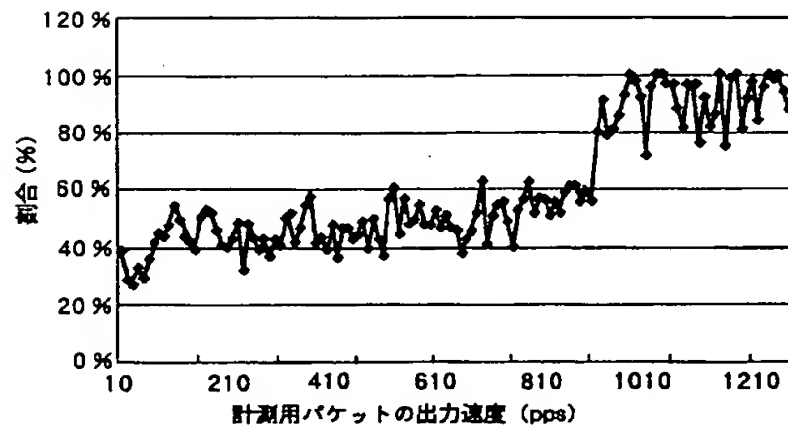
【図 17】

TCPにおけるウィンドウサイズの挙動を示す図



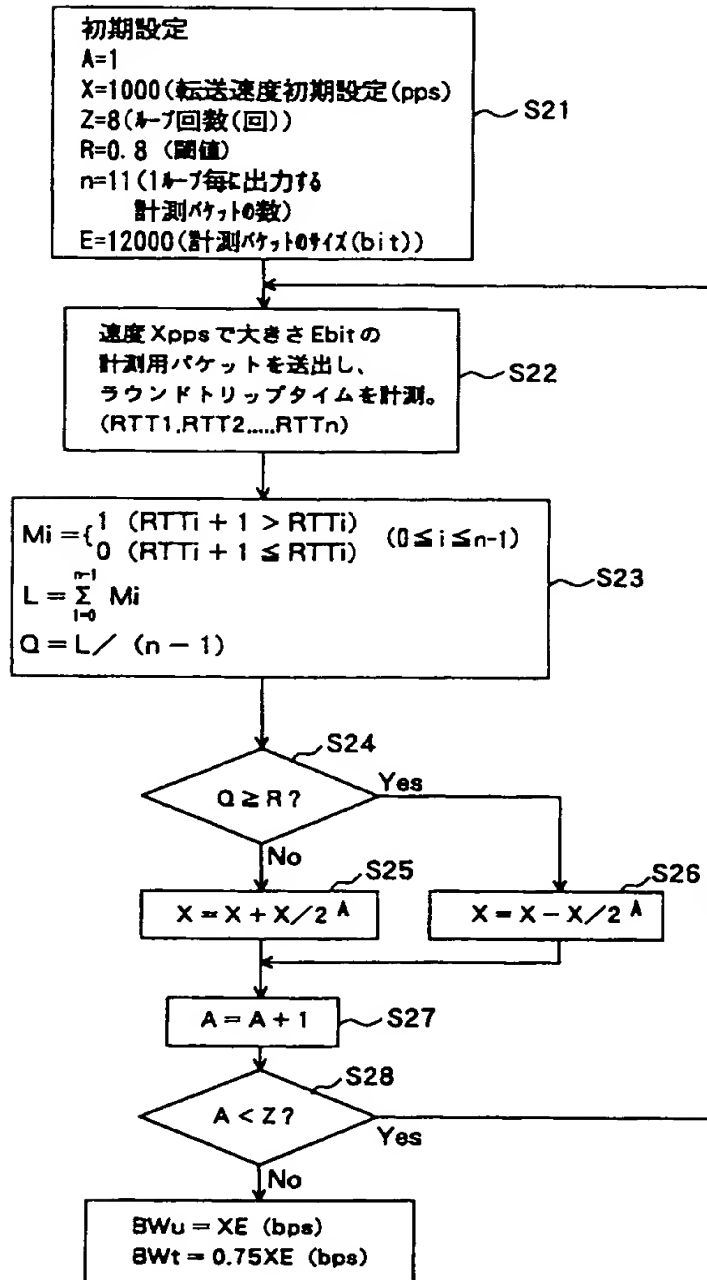
【図 18】

ラウンドトリップタイムの増加割合の調査例を示す図

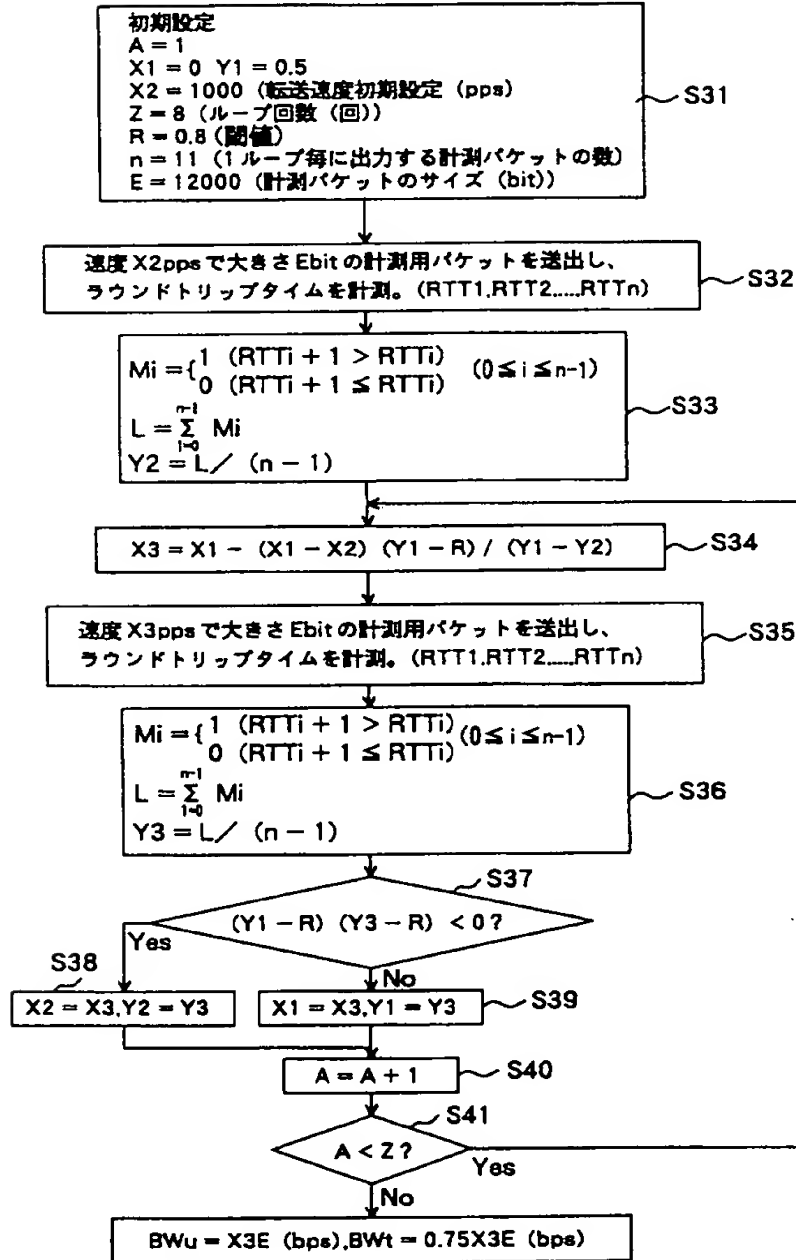


【図 19】

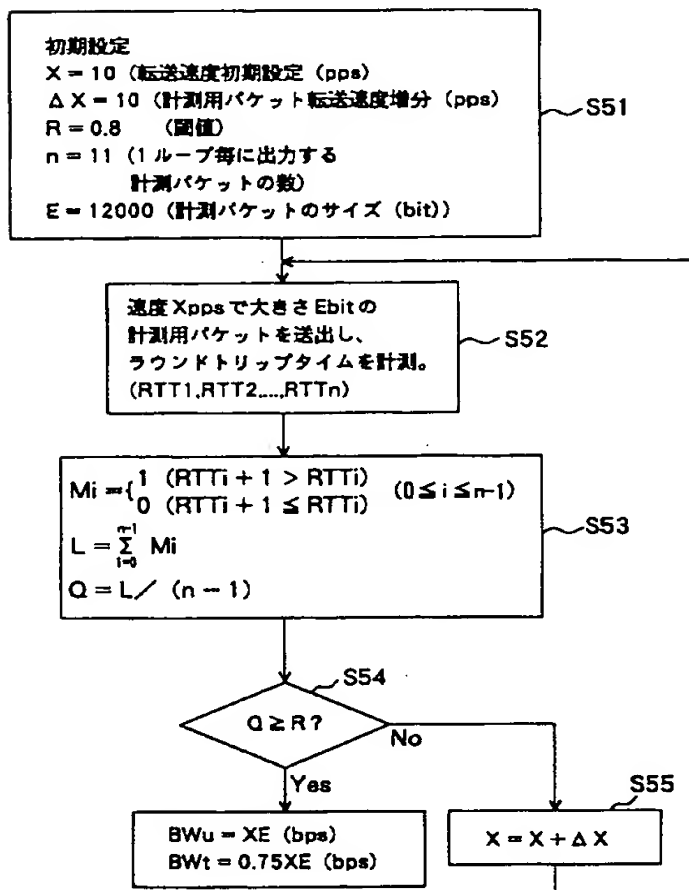
二分法による利用可能帯域幅推定の手順を示す図



はさみうち法による利用可能帯域幅推定の手順を示す図

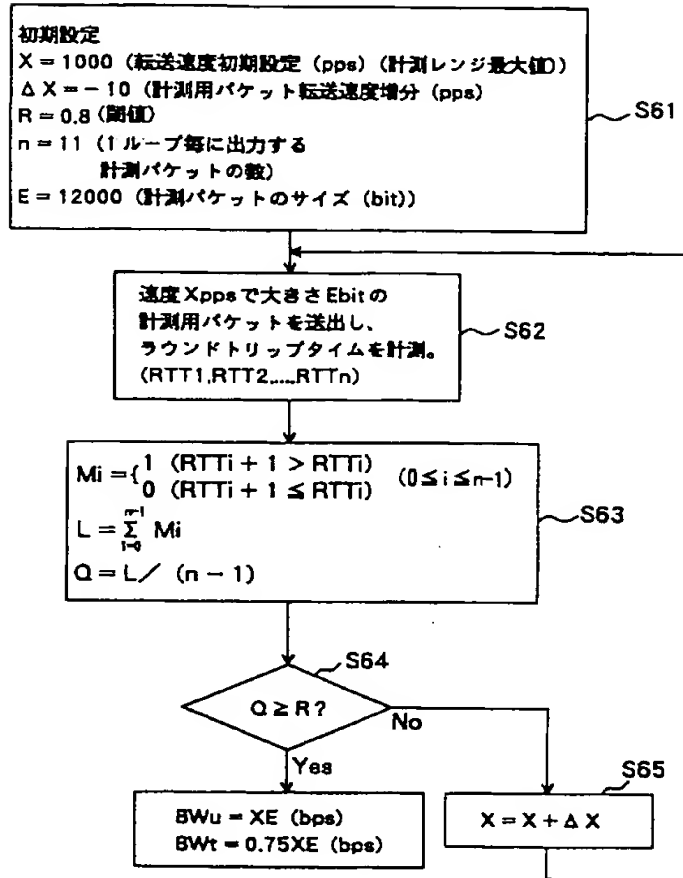


単調増加法による利用可能帯域幅推定の手順を示す図



【図 2 2】

単調減少法による利用可能帯域幅推定の手順を示す図



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 特別に多数個の計測用パケットをネットワークに送信することなく、ネットワークの通信経路上でTCP (Transmission Control Protocol) 通信の性能を測定するなど。

【解決手段】 TCP通信性能測定装置2は、OSI参照モデルのトランスポート層のプロトコルであるTCPに則って送受信されているTCP通信の可変長パケットに基づいて得られるラウンドトリップタイム及び最大セグメントサイズの双方と平均輻輳ウィンドウサイズ、パケット廃棄率及びパケット廃棄イベント率のいずれかをとを性能指標としてTCP通信の性能を表す実効帯域幅(転送速度)を求める。そのために、パケットモニタリング部21、性能指標検出部22、セッション管理部23、セッション管理テーブル24及び性能計算部25を備える。

【選択図】 図2

"Cisco DistributedDirector", September 30, 1997

The Distributed Director system makes, between DRP agents and clients, inquiries concerning DRP agents in a field for the  
5 "range"-metrics in the Border Gateway Protocol (BGP) and Internal Gateway Protocol (IGP) by using the Director response Protocol (DRP) which is a simple UDP base application developed by Cisco Systems Inc.